



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

# PENGARUH VARIASI ARUS DAN *TRAVEL SPEED* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN CuNi 90/10 DENGAN METODE TIG

Wahyu Hidayat Nurdiansyah

NRP 02511440000101

Dosen Pembimbing

Wikan Jatimurti S.T., M.Sc.

Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



**TUGAS AKHIR - TL141584**

**PENGARUH VARIASI ARUS DAN TRAVEL  
SPEED TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN  
KEKERASAN CuNi 90/10 DENGAN METODE TIG**

**WAHYU HIDAYAT NURDIANSYAH  
NRP. 02511440000101**

**Dosen Pembimbing  
Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.  
Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.**

**Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2018**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL141584**

**EFFECT OF CURRENT AND TRAVEL SPEED  
VARIATION OF TIG WELDING ON  
MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF CuNi  
90/10**

**WAHYU HIDAYAT NURDIANSYAH  
NRP. 02511440000101**

**Advisors**

**Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc.**

**Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.**

**Materials Engineering Departement  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya  
2018**



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### TUGAS AKHIR

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Metalurgi Manufaktur  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institute Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

**WAHYU HIDAYAT NURDIANSYAH**

NRP 02511440000101

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. .... (Pembimbing I)

Alvian Toto Wibisono S.T., M.T. .... (Pembimbing II)



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **PENGARUH VARIASI ARUS DAN *TRAVEL SPEED* TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN CuNi 90/10 DENGAN METODE TIG**

**Nama Mahasiswa** : Wahyu Hidayat Nurdiansyah  
**NRP** : 02511440000101  
**Departemen** : Teknik Material  
**Dosen Pembimbing I** : Wikan Jatimurti S.T., M.Sc.  
**Dosen Pembimbing II** : Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

*Paduan Tembaga-Nikel terutama CuNi 90/10 sering digunakan untuk kebutuhan pipa kapal selam karena memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi yang baik. Paduan ini paling cocok disambung dengan metode pengelasan TIG. Namun sering terjadi masalah pada pengelasan TIG diantaranya adalah cracking dan porositas akibat pengaturan parameter pengelasan yang kurang tepat. Penelitian ini dilakukan dengan mengelas CuNi 90/10 ukuran diameter 101.6 dan panjang 50mm dengan metode TIG dengan parameter arus 100A, 110A dan 120A serta dengan travel speed 7.5cm/min, 10cm/min dan 12.5cm/min. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian makro, uji komposisi, Uji XRD, Uji metalografi dan uji hardness dengan microvickers. Dari hasil penelitian didapatkan fasa yang terbentuk setelah pengelasan adalah  $\alpha$ CuNi. Struktur mikro yang terbentuk adalah dendritik pada weld metal dan polikristalin pada base metal. Sedangkan dari hasil kekerasan meningkat dengan bertambahnya arus dan travel speed dimana nilai kekerasan paling tinggi pada variasi arus 120A dan travel speed 12.5cm/min dengan nilai kekerasan 124.93 HV.*

***Kata Kunci : CuNi 90/10, TIG, Arus, Travel Speed***

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **EFFECT OF CURRENT AND TRAVEL SPEED VARIATION OF TIG WELDING ON MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF CuNi 90/10**

**Name** : Wahyu Hidayat Nurdiansyah  
**NRP** : 02511440000101  
**Department** : Material Engineering  
**Advisor 1** : Wikan Jatimurti S.T., M.Sc.  
**Advisor 2** : Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T

## **ABSTRACT**

*Copper-Nickel Alloys especially CuNi 90/10 are often used for submarines pipe because they are have good mechanical properties and corrosion resistance. This alloy is most suitable to be joint with TIG welding. However, there is some problem that will happen due to propper welding parameter settings such as cracking and porosity .This research was conducted with 101.6mm diameter and 50 mm length of CuNi 90/10 with TIG welding method. The variation of the parameters is 100A, 110A and 120A current and 7.5cm/min, 10cm/min and 12.5 cm/min of travel speed. The test were macro test, composition test, XRD test, metallographic test and hardness test by microvickers test. From the result of the research, the phase that formed after welding is  $\alpha$ CuNi. The microstructure formed was dendritic on weld metal and polycrystalline on base metal. While the result of hardness increase with increasing of current and travel speed. The highest hardness value at variation of current 120A and travel speed 12.5cm/min with hardness value 124 .94 HV.*

***Keywords : CuNi 90/10, TIG, Current, Travel speed***

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir serta menyusun laporan tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Variasi Arus dan *Travel Speed* Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan CuNi 90/10 dengan Metode TIG”**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi kuliah tugas akhir yang menjadi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Departemen Teknik Material - Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis, diantaranya:

1. Kedua orang tua dan kedua adik penulis yang telah memberikan banyak doa, dukungan moriil dan materiil, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi kepada penulis.
2. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc. dan Bapak Alvian Toto Wibisono, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Selain itu penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada Bapak Sigit Budi Raharjo S.T. dan seluruh pegawai PT PAL Indonesia yang telah berkenan memberikan waktu luangnya untuk berdiskusi dan membantu pengerjaan tugas akhir penulis.



4. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2018  
Penulis,

Wahyu Hidayat Nurdiansyah  
02511440000101

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Paduan Tembaga .....	4
2.2 Pengelasan .....	11
2.3 Parameter Pengelasan .....	13
2.4 Siklus Termal Daerah Pengelasan .....	15
2.5 Pengelasan TIG .....	18
2.6 Cacat Pada Pengelasan .....	24
2.7 Kekerasan .....	31
2.8 Penelitian Sebelumnya .....	33
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Percobaan .....	42
3.2 Metode Penelitian .....	43
3.3 Bahan Penelitian .....	43
3.4 Alat Penelitian .....	45
3.5 Tahapan Penelitian .....	48
3.6 Rancangan Penelitian .....	58
3.7 Jadwal Penelitian .....	59
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Pengamatan Makro .....	61

4.2 Komposisi Kimia CuNi 90/10 dan Filler Metal .....	67
4.3 Hasil Pengujian XRD .....	68
4.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro .....	69
4.5 Hasil Pengujian Kekerasan .....	82
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	87
5.2 Saran .....	87
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xxi</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Paduan Tembaga-Nikel untuk Perpipaaan (CDA, 2013) .....	6
Gambar 2.2 Diagram Fasa Cu-Ni (Calister, 2013) .....	8
Gambar 2.3 Pipa CuNi 90/10 .....	8
Gambar 2.4 Area Struktural yang Terbentuk pada (a) <i>Fusion Welding</i> dan (b) <i>Nonfusion Welding</i> Antara Logam Murni (Kanan) Dengan Paduan (Kiri) (Messler, 1999) .....	12
Gambar 2.5 Siklus Termal Las pada Beberapa Jarak dari Batas Las 20mm;170A;28V;15,2cm/min (Musaikan,1997)15	
Gambar 2.6 Siklus Termal dalam Las Busur Tangan (Musaikan,1997).....	16
Gambar 2.7 Skema Pengelasan TIG (DED,2012) .....	17
Gambar 2.8 Distribusi Panas pada Elektroda Tungsten dan Kerja pada Setiap Tipe Arus Pengelasan (German Development Service, 2012) .....	20
Gambar 2.9 Berbagai Jenis Retak Dingin (Wiryosumarto dan Okumura, 2000).....	23
Gambar 2.10 Beberapa contoh Retak Panas (Wiryosumarto dan Okumura, 2000).....	23
Gambar 2.11 Cacat Porositas (Rogers, 2013) .....	24
Gambar 2.12 Cacat Las <i>Slag Inclusion</i> (Rogers, 2013) .....	25
Gambar 2.13 Cacat Las <i>Incompletion Fusion</i> (Rogers, 2013).....	25
Gambar 2.14 Ilustrasi <i>Overlap</i> (Rogers, 2013).....	26
Gambar 2.15 Ilustrasi <i>Excessive Penetration</i> (Rogers, 2013).....	27
Gambar 2.16 Bentuk dari <i>Crater</i> (Rogers, 2013) .....	27
Gambar 2.17 <i>Lack of Penetration</i> (Rogers, 2013) .....	28
29	
Gambar 2.18. a) <i>Linear Misalignment</i> , b) <i>Angular Misalignment</i> (Rogers, 2013) .....	29
Gambar 2.19 Penggunaan Indentor pada masing-masing pengujian Kekerasan (Dieter,1998) .....	30

Gambar 2.20 Hasil Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 dengan Elektroda (a)32.1wt%Ni (b)32.39wt%Ni (c)32.6wt%Ni (Devletian dan Sullivan, 2006).....	32
Gambar 2.21 Hasil Pengamatan Struktur Mikro <i>Laser Beam Welding</i> pada <i>Base Metal</i> (Chakravarthy, 2018) .....	33
Gambar 2.22 Hasil Pengamatan Struktur Mikro <i>Laser Beam Welding</i> pada <i>Weld Metal</i> dengan <i>Travel Speed</i> (a)1m/min (b)1.5m/min (c) 2m/min (d)2.5m/min (Chakravarthy, 2018).....	34
Gambar 2.23 Hasil uji Kekerasan dengan <i>Micro Hardness Testing</i> (Chakravarthy, 2018).....	35
Gambar 2.24 Hasil Uji EDS pada <i>Weld Metal Travel Speed</i> (a) 2m/min (b) 2.5m/min(Chakravarthy, 2018).....	36
Gambar 2.25 Hasil Uji XRD Sample CuNi dengan Komposisi yang Berbeda( Yussop, 2015).....	37
Gambar 2.26 Hasil Uji XRD Spesimen Coran CuNi dengan Komposisi yang Berbeda(Rizky, 2017) .....	38
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	43
Gambar 3.2 Material Uji CuNi 90/10 .....	44
Gambar 3.3 Elektroda ERCuNi .....	44
Gambar 3.4 Tabung Gas Argon.....	45
Gambar 3.5 Penggaris .....	45
Gambar 3.6 Jangka Sorong .....	46
Gambar 3.7 Kamera .....	46
Gambar 3.8 Gerinda .....	46
Gambar 3.9 Mesin Las TIG .....	47
Gambar 3.10 Mesin Metal Polish .....	47
Gambar 3.11 Kertas Amplas .....	48
Gambar 3.12 Ukuran Spesimen yang Siap Untuk Dilas .....	49
Gambar 3.13 Desain Spesimen sebelum Dilas .....	51
Gambar 3.14 Gambar Mikroskop Optik .....	54
Gambar 3.15 Alat Uji XRD .....	56
Gambar 3.16 Alat Uji Kekerasan .....	57
Gambar 3.17 Titik Uji Kekerasan pada Daerah Pengelasan .....	58

Gambar 4.1 Hasil Foto Makro Hasil Pengelasan CuNi90/10 (a)A100-TS7.5 (b)A110-TS7.5 (c)A120-TS7.5.....	61
Gambar 4.2 Hasil Foto Makro Hasil Pengelasan CuNi90/10 a)A100-TS10 b)A110-TS10 c)A120-TS10.....	62
Gambar 4.3 Hasil Foto Makro Hasil Pengelasan CuNi90/10 a)A100-TS12.5 b)A110-TS12.5 c)A120-TS12.5.....	63
Gambar 4.4 Pengaruh Arus dan <i>Travel Speed</i> Terhadap Luasan Weld Metal .....	66
Gambar 4.5 Pola XRD pada Masing-masing Daerah Pengelasan .....	68
Gambar 4.6 Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 100A- TS7.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL.....	70
Gambar 4.7 Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 110A- TS7.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL.....	71
Gambar 4.8 Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 120A- TS7.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL.....	72
Gambar 4.9 Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 100A- TS10Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL.....	73
Gambar 4.10 Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 110A- TS10Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL.....	74
Gambar 4.11 Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 120A- TS10Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL.....	75
Gambar 4.12 Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 100A- TS12.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL.....	76
Gambar 4.13 Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 110A- TS12.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL.....	77
Gambar 4.14 Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 120A- TS12.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL.....	78
Gambar 4.15 Jumlah Butir per Luasan/Nilai Jeffries (NA) .....	81
Gambar 4.16 Kekerasan <i>Weld Metal</i> CuNi 90/10 Pengelasan TIG dengan Elektroda ERCuNi 70/30 .....	83
Gambar 4.17 Kekerasan <i>Fusion Line</i> CuNi 90/10 Pengelasan TIG dengan Elektroda ERCuNi 70/30 .....	84
Gambar 4.18 Kekerasan <i>Base Metal</i> CuNi 90/10 Pengelasan TIG dengan Elektroda ERCuNi 70/30 .....	84

Gambar 4.19 Perbandingan Kekerasan Seluruh Daerah Las CuNi  
90/10..... 85

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbandingan Komposisi CuNi 90/10 dengan CuNi70/30 untuk Pengelasan.....	9
Tabel 2.2 Sifat Mekanik CuNi 90/10 .....	10
Tabel 2.3 Kebutuhan Pengelasan TIG untuk CuNi 90/10 .....	18
Tabel 2.4 Komposisi Elektroda ER CuNi AWS A5.7 CuNi 90/10 .....	21
Tabel 2.5 Sifat Mekanik Elektroda untuk CuNi 90/10....	21
Tabel 3.1 Parameter Pengelasan.....	48
Tabel 3.2 Rancangan Penelitian .....	59
Tabel 3.3 Jadwal Penelitian.....	60
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Pada <i>Weld Metal</i> CuNi90/10 .....	65
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Komposisi <i>Base Metal</i> CuNi	67
Tabel 4.3 Komposisi <i>Filler Metal</i> CuNi .....	67
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Jumlah Butir dengan Metode Jeffries.....	81
Tabel 4.5 Hasil Pengujian kekerasan Cu Ni 90/10 dengan <i>Filler Metal</i> 70/30.....	83



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **I.1 Latar Belakang**

Tembaga dan paduannya banyak digunakan dalam berbagai macam aplikasi karena memiliki sifat mekanik yang baik, diantaranya ketahanan korosi yang baik, konduktivitas listrik dan termal yang baik serta kemampuan bentuk yang baik. Kebanyakan paduan tembaga adalah paduan larutan padat. Paduan tembaga dapat diidentifikasi berdasarkan elemen paduannya, diantaranya adalah paduan tembaga-seng, paduan tembaga-aluminium, paduan tembaga-nikel, dan paduan tembaga-seng-nikel. Salah satu paduan tembaga yang cukup sering digunakan dalam dunia kelautan adalah paduan CuNi 90/10 yang termasuk dalam jenis paduan tembaga-nikel dengan komposisi dominan 90% tembaga dan 10% nikel. Dalam penerapannya material CuNi 90/10 sering digunakan dalam pipa pada kapal selam.

Pipa CuNi 90/10 dalam kapal selam paling sering disambung dengan pengelasan dengan metode TIG. Hal ini dikarenakan metode TIG merupakan metode pengelasan yang paling efektif digunakan untuk menggabungkan material yang memiliki ketebalan yang tipis. Jenis pengelasan ini mampu mencapai hasil las yang berkualitas tinggi untuk baja tahan karat maupun paduan *non-ferrous*. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi hasil lasan pada material CuNi 90/10 antara lain arus pengelasan, tegangan serta kecepatan pengelasan. Ketiga hal ini tergabung dalam kesatuan yang disebut dengan *Heat Input*.

Namun, terkadang ditemui beberapa masalah dalam pengelasan TIG antara lain ditemuinya porositas atau *hot crack*. *Hot Cracking* terjadi akibat adanya unsur-unsur seperti sulfur timbal atau fosfor yang kadarnya melebihi batas ambang. Sedangkan porositas disebabkan antara lain karena adanya unsur-unsur seperti hidrogen dan uap air yang masuk sehingga melebihi batas ambang adanya unsur tersebut. Selain itu *heat input* yang



kurang sesuai seringkali dapat menimbulkan masalah diatas. Berdasarkan American Welding Society, untuk mencegah *hot cracking* salah satunya dengan meminimalisir *heat input*. Sedangkan untuk porositas dapat juga diminimalisir dengan menaikkan *travel speed*.

Selain itu, pada penelitian Jatmoko Awali, variasi *heat input* yakni pada arus dan *travel speed* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro yang diperoleh dari hasil lasan. Berdasarkan uraian diatas, diperlukan adanya pengaturan parameter pengelasan yang sesuai dalam pengelasan dengan metode TIG untuk mengurangi adanya cacat las diatas serta mencapai sifat mekanik yang lebih baik. Arus dan *travel speed* merupakan parameter las yang krusial dan diduga mampu mengurangi adanya cacat las diatas, sehingga kedua parameter las ini akan diuji pada penelitian kali ini.

## **I.2 Perumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh arus dan *travel speed* terhadap struktur mikro pada hasil las CuNi 90/10 dengan menggunakan TIG ?
2. Bagaimana pengaruh arus dan *travel speed* terhadap distribusi kekerasan pada hasil las CuNi 90/10 dengan menggunakan TIG ?

## **I.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan dianggap homogen
2. Kecepatan pengelasan dalam satu kali putaran dianggap konstan
3. Sudut pengelasan dianggap konstan
4. Jarak pengelasan dianggap konstan
5. Flow rate gas argon selama pengelasan TIG dianggap konstan
6. Permukaan hasil preparasi dan pembersihan sebelum proses pengelasan dianggap konstan



#### **I.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari diadakannya penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh arus dan *travel speed* terhadap struktur mikro pada hasil las CuNi 90/10 dengan menggunakan TIG
2. Menganalisis pengaruh arus dan *travel speed* terhadap distribusi kekerasan pada hasil las CuNi 90/10 dengan menggunakan metode TIG.

#### **I.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menjadi referensi dalam memprediksi parameter las yang baik untuk pengelasan CuNi 90/10 dengan metode TIG untuk meminimalisir terjadinya *hot cracking*, porositas maupun cacat las lain serta pengembangan lain dalam bidang teknologi pengelasan di masa mendatang.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Paduan Tembaga

Tembaga dan paduannya memiliki bentuk *lattice* FCC (*Face Centered Cubic*) yang mana membuatnya memiliki sifat mampu bentuk dan mampu tempa yang baik. Dalam bentuk yang murni, tembaga memiliki kerapatan sebesar  $8,94 \text{ Mg/m}^3$ , sekitar tiga kali lipat daripada aluminium. Tembaga tahan terhadap oksidasi, air tawar dan air laut, larutan alkali dan bahan kimia organik. Ketahanan korosi yang baik ini membuat paduan tembaga cocok dipakai untuk pipa air, katup, *fittings*, *heat exchanger*, alat-alat kimia, dan *bearings*. (AWS, 1996) Beberapa paduan mengkombinasikan kekuatan tinggi dan ketahanan korosi untuk keperluan perkapalan.

Kebanyakan paduan tembaga adalah paduan larutan padat, meskipun terdapat paduan yang memiliki dua atau lebih fasa dan beberapa mendapatkan kekuatan yang tinggi akibat dari presipitasi dari senyawa intermetalik. Paduan ini mudah untuk diidentifikasi berdasarkan element paduannya. Namun beberapa penggolongan secara umum terhadap paduan ini berdasarkan dari metalurgi fisiknya. Jika dibandingkan dengan yang satu fasa, paduan dengan dua fasa memiliki sifat laku panas dan sifat mampu las yang jauh lebih baik. Keuletan akan menurun dan *yield strength* akan meningkat apabila perbandingan fasanya meningkat.

Adanya unsur tambahan akan mempengaruhi sifat dari paduan tembaga. Misalnya besi, silikon, tin, arsenik, dan antimony, meskipun sedikit akan mempengaruhi ketahanan korosi paduan tembaga. Timbal, selenium, telurium dan sulfur meningkatkan *machinability* tanpa memberikan efek yang signifikan terhadap ketahanan korosi maupun konduktivitasnya. Namun unsur-unsur tersebut akan berpengaruh pada *hot working* dan kemampuan lasnya. Boron, fosfor, lithium dan silikon adalah

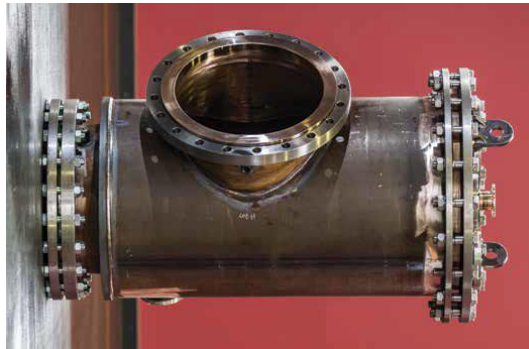


agen deoksidasi, sedangkan adanya perak dan kadmium mencegah terjadinya pelunakan.

Paduan tembaga mampu untuk dilas jika dilakukan dengan persiapan khusus. Brazing dan soldering juga mampu dilakukan untuk paduan tembaga. Jika dibandingkan dengan baja, tembaga dan paduannya memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dan koefisien penyusutan yang lebih tinggi serta ekspansi termal yang lebih tinggi. (AWS, 1972) Konduktivitas termal dan konduktivitas elektrik dari tembaga dan paduan tembaga memberikan efek tertentu pada kemampuan lasnya. Paduan tembaga biasanya dikeraskan dengan *mechanical cold working*. HAZ dari paduan tembaga dengan jarak temperatur *liquidus* ke *solidus* yang lebar, seperti paduan tembaga-timah dan tembaga-nikel rentan terhadap *hot cracking*. *Hot cracking* dapat diminimalisir dengan cara mengurangi *restraint* saat pengelasan, meminimalisir *heat input* dan temperatur *interpass* serta mengurangi ukuran *root opening* dan menambah ukuran *root pass*. Beberapa unsur seperti seng, kadmium dan fosfor memiliki temperatur didih yang rendah sehingga penguapan unsur tersebut dapat menyebabkan porositas pada saat pengelasan. Porositas dapat dikurangi dengan cara menambah travel speed dan menggunakan filler metal yang memiliki presentase yang kecil dari unsur-unsur tersebut. (AWS, 1996)

### 2.1.1 Paduan Copper-Nickel

Tembaga dan nikel memiliki besar atom dan *lattice parameter* yang hampir mirip sehingga untuk diagram fasanya terlihat sederhana. Pada semua temperature, paduan Cu-Ni menunjukkan *single phase* dengan bentuk FCC. Struktur kristalografinya memperlihatkan keuletan yang sangat baik dan kekuatan impak yang baik. (Schleich, 2006) Untuk contoh gambar dari paduan tembaga dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.1** Paduan Tembaga-Nikel untuk Perpipaaan(CDA, 2013)

Paduan Copper-Nickel atau biasa disebut cupronikel biasa tersedia dengan kadar nikel sebesar 5-30%. Paduan ini biasanya digunakan dalam fabrikasi pengelasan yang mengandung nikel antara 10%, 20% dan 30%. Paduan cupronikel memiliki *tensile strength* yang tinggi yang mana paduan dengan kadar 30% nikel dan 70% tembaga adalah paduan yang memiliki *tensile strength* yang paling tinggi. Hal ini dikarenakan *tensile strength* akan meningkat dengan meningkatnya unsur nikel dalam paduan tembaga. Sifat lain yang terpengaruh dengan pengingkatan unsur nikel adalah keuletan yang menurun dan konduktivitas termal yang meningkat.

Dalam penggunaannya, cupronikel memiliki ketahanan korosi yang sangat tinggi. Untuk paduan dengan 30% nikel sangat baik untuk menjaga paduan dari *stress corrosion cracking*. Sedangkan paduan dengan 10% nikel hampir mencapai sifat tersebut sehingga penggunaannya lebih massif karena biaya yang murah. Seperti pada nikel dan paduannya, cupronikel rentan terhadap penggetasan timbal atau sulfur. Oleh karenanya, pada pengelasan cupronikel yang sering kali terjadi masalah adalah adanya *hot cracking* akibat adanya timbal, sulfur atau fosfor. Untuk pengelasan, unsur timbal harus dijaga maksimal 0.01% dan kontaminasi sulfur harus dihindari. Kadar fosfor harus lebih rendah dari 0.02% untuk menghindari adanya *cracking* selama

---

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**



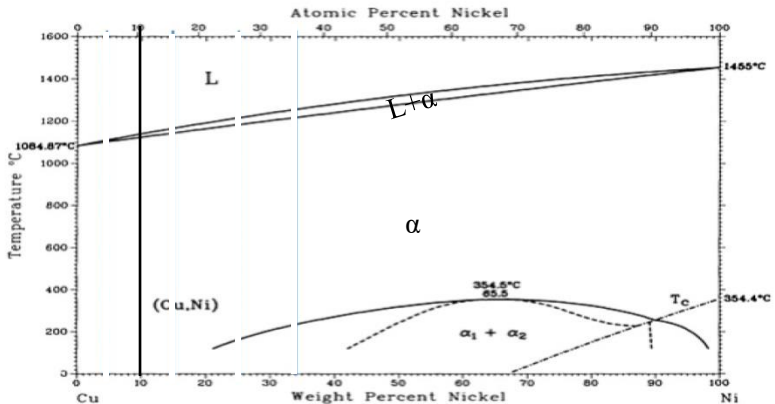


pengelasan. Adanya unsur-unsur diatas yang berlebihan dapat menyebabkan retak intergranular pada daerah HAZ. (AWS, 1972)

Paduan tembaga dengan sifat-sifatnya memiliki sifat mampu las tertentu. Titik cair dari tembaga terletak diantara titik cair aluminium dan besi. Koefisien muainya kira-kira 1,5 kali dari baja, karena itu dalam pengelasan sering terjadi perubahan bentuk dan retak. Pada paduan tembaga seringkali terjadi porositas. Penyebab utama terjadinya porositas pada pengelasan tembaga adalah hidrogen dan uap air. Pada paduan tembaga kelarutan oksigen dalam paduan cair turun karena adanya unsur P, Si, dan Al, namun batas kelarutan hidrogen dalam paduan cair tersebut naik dan kemudian menurun dengan cepat selama proses pendinginan. Karena turunnya batas kelarutan ini maka gas hidrogen keluar dari larutan dan membentuk porositas. Pada tembaga murni jarang sekali terjadi retak las, namun pada logam paduannya retak mudah terjadi karena terbentuknya endapan-endapan dengan titik cair rendah seperti Pb dan Bi pada batas butir yang menyebabkan retak batas butir. (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

### 2.1.2 CuNi 90/10

Gambar 2.2 merupakan gambar dari diagram fasa paduan Cu-Ni. Komposisi dari paduan diatas berkisar dari 0 wt%Ni (100 wt%Cu) pada sebelah paling kiri dan 100 wt%Ni (0 wt%Cu) pada sebelah paling kanan. Ada tiga daerah fasa yang berbeda pada diagram fasa diatas, yaitu daerah alfa ( $\alpha$ ), daerah liquid (L) dan daerah dua fasa  $\alpha$ +L. Pada temperatur dibawah 1080°C, tembaga dan nikel saling larut satu sama lain dalam bentuk padat pada segala komposisi. Hal ini menjelaskan bahwa Cu dan Ni memiliki struktur Kristal yang sama (FCC), sehingga sistem tembaga nikel ini disebut isomorfus karena complete liquid dan kelarutan padat dari keduanya. (Calister, 2013).



**Gambar 2.2** Diagram Fasa Cu-Ni (Calister, 2013)

Pada temperatur 1400°C paduan ini akan berfasa liquid 100%. Pada temperatur sekitar 1130°C mulai terjadi pembekuan dan di temperatur sekitar 1100°C terbentuklah dua fasa yakni  $\alpha$ +L hingga temperatur akhir pembekuan. Pada temperatur kamar fasa yang terbentuk adalah 100% solid  $\alpha$  dimana Cu dan Ni saling larut secara sempurna sehingga tidak menimbulkan fasa lain.



**Gambar 2.3** Pipa CuNi 90/10

Seperti uraian sebelumnya, terdapat dua kelompok utama dari paduan CuNi yang digunakan dalam dunia perkapalan yaitu

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**



CuNi 90/10 (untuk 10% Nikel) dan CuNi 70/30(untuk 30%Nikel). CuNi 70/30 memang memiliki kekuatan dan ketahanan terhadap air laut yang lebih tinggi, namun CuNi 90/10 lebih dapat digunakan ke dalam berbagai aplikasi serta memiliki biaya operasional yang lebih murah. Gambar 2.3 diatas merupakan material dari CuNi 90/10. Untuk perbandingan komposisi dari kedua paduan ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Perbandingan Komposisi CuNi 90/10 dengan CuNi70/30 untuk Pengelasan

Paduan	Cu Min	Ni	Fe	Mn Max	Zn Max	C Max	Pb Max	S Max	P Max
CuNi 90/10	> 86.5	9-11	1-1,2	1	0.5	0.05	0.02	0.02	0.02
CuNi 70/30	> 65.0	29-33	0.4-1	1	0.5	0.05	0.02	0.02	0.02

Untuk lebih lengkapnya mengenai sifat mekanik material CuNi 90/10 dapat dilihat pada Tabel 2.2. Paduan ini biasanya dilas dengan TIG meskipun terkadang juga masih terdapat penggunaan las dengan metode SMAW, SAW dan OFW. CuNi 90/10 tidak memerlukan *preheat* dan *interpass temperature* tidak boleh lebih dari 177°C. Permukaan yang akan dilas haruslah bersih, bebas dari oksida, dan kontaminasi lainnya termasuk sulfur yang dapat menyebabkan HAZ *intergranular cracking*.(AWS, 1996) Penggunaan 90/10 Copper-Nickel alloy dalam penggunaan dalam sistem perpipaan bidang kelautan memiliki sejarah yang panjang.

Material 90/10 tembaga dipilih karena :

- Memiliki kemampuan las(*weldability*) yang lebih baik.
- Mempunyai sifat tahan korosi yang tinggi. Material 90/10 tembaga-nikel tidak membutuhkan perlakuan panas



*stress relief* untuk mengurangi kemungkinan terjadinya *stress corrosion cracking* yang rentan di air laut.

- c. Salah satu produsen utama (Gilbert, 1979) mencatat bahwa ketika penggunaan pipa 90/10 Copper-Nickel alloy di 20 tahun pertama sebagai material pipa air laut, hanya sembilan kasus kegagalan prematur yang terjadi, semua kegagalan ini, disebabkan karena kecepatan air laut yang sangat tinggi.

**Tabel 2.2** Sifat Mekanik CuNi 90/10

No	Sifat Mekanik	Satuan	Nilai
1	Densitas	kg/dm <sup>3</sup>	8.90
2	<i>Melting Range</i>	°C	1100-1145
4	<i>Specific Heat</i>	J/kgK	377
5	Konduktivitas Termal	w/mK	40
6	Koefisien Ekspansi Linear 10-300 °C	10 <sup>-6</sup> /K	17
7	Resivitas Elektrik	mikroohm/cm	19
8	Modulus Elastis	GPa	135
9	Modulus Kekakuan	GPa	50

Material 90/10 Tembaga ini punya beberapa kelemahan, diantaranya adalah :

- a. Dalam beberapa kasus, paduan CuNi mampu mengalami *hot crack* dan porositas pada saat pengelasan.
- b. Paduan tembaga dapat terjadi reaksi korosi yang cepat apabila terkena polutan air laut yaitu sulfida, dan juga air laut yang sudah ter-aerasi. Polutan ini menyebabkan lapisan pelindung paduan tembaga menjadi tidak aktif. (CDA, 1986)

### 2.1.3 Pengaruh Unsur Paduan

---

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Adanya unsur paduan akan mempengaruhi sifat mekanik pada paduan CuNi. Penjelasan mengenai beberapa pengaruh unsur paduan dapat dilihat pada uraian berikut :

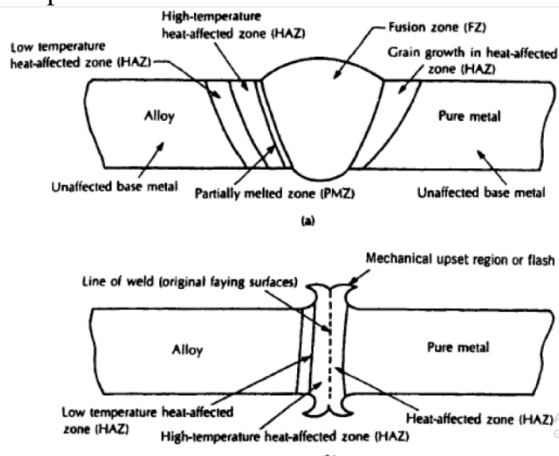
1. Ni : unsur nikel dalam paduan CuNi akan menambah kekuatan, temperatur leleh, ketahanan korosi, konduktivitas termal dan elektrik. Semakin tinggi adanya unsur nikel dalam paduan CuNi maka sifat-sifat diatas akan bertambah.
2. Fe : unsur besi dapat menambah ketahanan korosi dan menambah keuletan. Namun adanya unsur besi tidak boleh lebih dari 1% untuk memastikan keuletan yang memadai dan menghindari adanya retak.
3. Mn : adanya unsur Mn dalam paduan CuNi ditekan hingga dibawah 5%. Mn mencegah efek buruk dari adanya unsur besi. Secara tidak langsung mangan menekan efek negatif dari sulfur seperti terbentuknya *solidification cracking*.
4. Si : meskipun silikon merupakan deoksidasi yang kuat, beberapa penelitian menunjukkan bahwa Si mampu menyebabkan adanya retak apabila dalam paduan CuNi lebih dari 0.12% (Devletian dan Sullivan, 2006)

## 2.2 Pengelasan

Pengelasan merupakan suatu pekerjaan penyambungan dua logam adan atau paduan-paduan logam dengan cara memanasi baik diatas batas cairnya atau dibawah batas cair tersebut disertai dengan tekanan atau tanpa tekanan, diberi logam pengisi atau tanpa logam pengisi(Musaikan, 1997). Menurut Ibrahim Khan, pengelasan adalah proses penyambungan secara permanen dua material melalui peleburan lokal yang di dasarkan pada perpaduan temperatur, tekanan dan kondisi metalurgi dari bahan. Sedangkan menurut DIN (*Deutsche Industric Normen*), pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam maupun logam paduan yang dilakukan pada keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, pengelasan adalah penyambungan setempat

dari logam dengan menggunakan energi panas, dengan atau tanpa tekanan, atau hanya tekanan, dengan atau tanpa menggunakan kawat las.

Dengan adanya energi panas, maka pada lokasi penyambungan, logam akan melebur, menyebabkan adanya interaksi dengan logam lain. Pada pengelasan tahanan listrik, penyambungan dilakukan dengan memadukan antara energi panas dan tekanan yang dibangkitkan oleh tahanan listrik. Proses pelelehan logam pada daerah lasan dan elektrode dengan sistem pendinginannya menyebabkan adanya proses perlakuan panas yang berakibat pada perubahan struktur mikro pada daerah sekitar lasan. Pada sambungan las, dapat dibedakan menjadi tiga daerah, yakni daerah lebur (*fusion zone*), daerah yang terpengaruh panas (*heat affected zone*=HAZ), dan daerah yang tidak terpengaruh panas pada logam asli (*unaffected zone*). (Suwarno, 2000). Untuk ilustrasi daerah-daerah yang terbentuk selama proses pengelasan dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibawah.



**Gambar 2.4** Area struktural yang terbentuk pada (a) *fusion welding* dan (b) *nonfusion welding* antara logam murni (kanan) dengan paduan (kiri) (Messler, 1999)

## 2.3 Parameter Pengelasan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Parameter pada proses pengelasan suatu material merupakan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap hasil las. Tidak hanya elektroda yang akan mempengaruhi pengelasan pada material. Namun, beberapa parameter pengelasan juga akan mempengaruhi kualitas hasil lasan seperti tegangan, arus, dan kecepatan pengelasan, yang akan membuat suatu hubungan yang menghasilkan energi pengelasan, yakni *heat input* (HI) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$H = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{V} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

H = *Heat Input* (HI) (kJ/mm)

E = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

V = Kecepatan pengelasan (mm/s)

$\eta$  = Efisiensi pengelasan

Pengaruh dari parameter tersebut dapat diuraikan sebagai berikut :

#### Arus

Perbedaan arus pada proses pengelasan merupakan faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengelasan. Arus yang kecil akan menghasilkan penetrasi dan penguatan yang rendah. Sedangkan untuk arus yang terlalu besar akan menghasilkan kekuatan sambungannya rendah dan mudah timbul retak pada lasannya. (Pasalbessy, 2015). Selain itu penyetelan arus yang terlalu kecil akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik sehingga busur listrik menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya kurang baik.

Besar kuat arus listrik juga mempengaruhi kekerasan, tegangan tarik dan susunan struktur mikro dari setiap spesimen. Hal ini disebabkan bila arus listrik yang diberikan semakin besar,



maka masukan panas (*Heat Input*) yang diberikan pada spesimen semakin besar. Pada arus listrik rendah, nilai kekerasan dari spesimen akan cenderung semakin tinggi dan berbanding terbalik jika arus listrik yang digunakan pada pengelasan semakin besar. Begitu juga dengan tegangan tarik tiap spesimen. (Mohruni, 2013)

### *Travel Speed*

Kecepatan pengelasan didefinisikan sebagai laju perjalanan elektroda sepanjang sambungan. Kecepatan pengelasan tergantung pada jenis elektroda, diameter elektroda, bahan yang dilas, geometri sambungan, ketelitian sambungan, dan lain sebagainya. Kecepatan pengelasan tidak memiliki hubungan dengan tegangan, namun berbanding lurus dengan arus yang digunakan pada proses pengelasan. Karena itu, pengelasan yang cepat memerlukan arus yang tinggi. (Wirjosumarto dan Okumura, 2000)

Kecepatan pengelasan sangat mempengaruhi nilai kekerasan dan tarik. Nilai kekerasan akan cenderung semakin kecil jika kecepatan las semakin kecil. Namun berbanding terbalik dengan nilai tegangan tariknya, karena tegangan tarik akan semakin membesar jika kecepatan las semakin rendah. Pada daerah HAZ, kecepatan las yang semakin kecil akan menyebabkan semakin luasnya daerah HAZ jika dibandingkan dengan kecepatan las yang tinggi. Ini dikarenakan penyebaran panas pada logam lebih lama. Hal ini juga akan mengakibatkan nilai kekerasan pada daerah HAZ akan meningkat. (Mohruni, 2013)

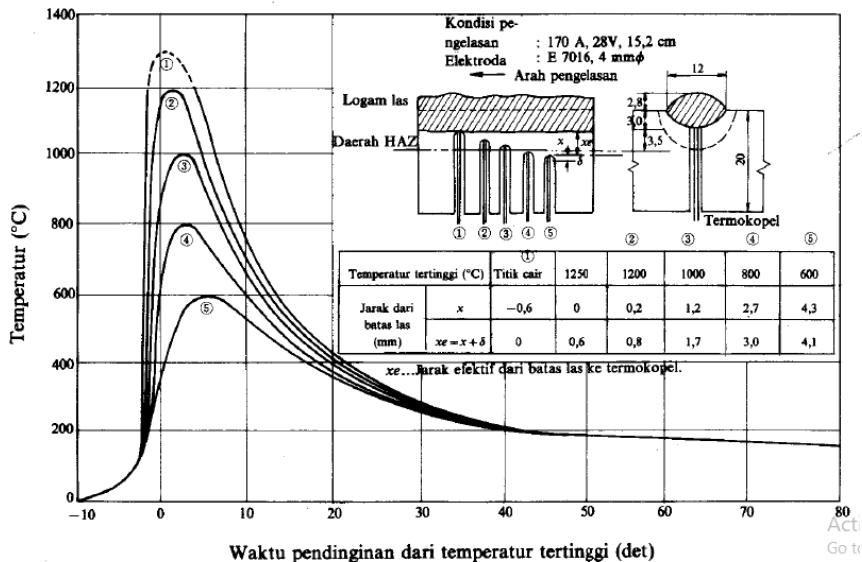
### **2.4 Siklus Termal Daerah Lasan**

Daerah lasan terdiri dari tiga bagian, yaitu logam las, daerah terpengaruh panas (HAZ) dan logam induk. Logam las merupakan bagian dari logam yang mencair dan kemudian membeku pada waktu pengelasan. Daerah terpengaruh panas atau HAZ merupakan logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Sedangkan logam induk merupakan



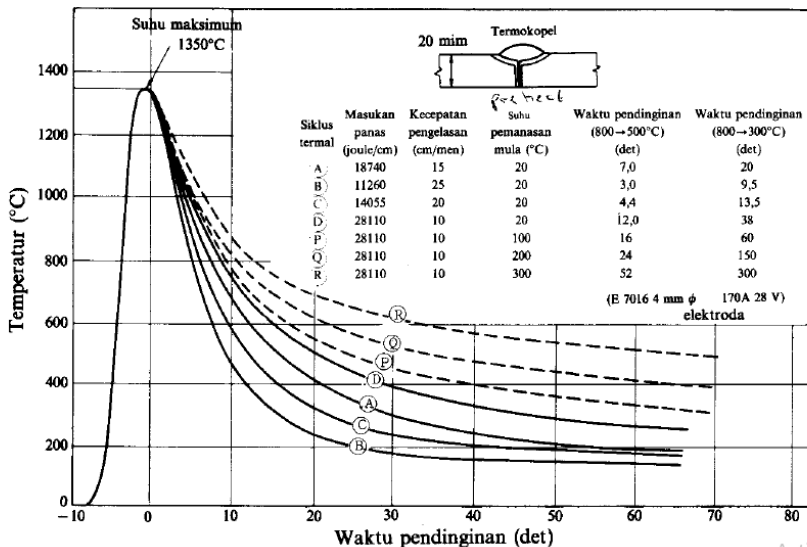


bagian logam dasar yang mana panas dan temperature yang terjadi selama pengelasan tidak menyebabkan perubahann struktur dan sifat dari logam dasarnya. Siklus termal las merupakan proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Gambar 2.5 dan 2.6 merupakan siklus termal daerah lasan dari busur listrik dengan elektroda terbungkus. (Wiryosumatro dan Okumura, 2000).



**Gambar 2.5** Siklus termal las pada beberapa jarak dari batas las 20mm;170A;28V;15,2cm/min (Musaikan,1997)

Gambar 2.5 memperlihatkan siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dengan kondisi pengelasan tetap. Apabila termokopel ditempatkan pada beberapa titik sepanjang bagian dari sebuah lasan, setiap termokopel akan merespon dengan menunjukkan kenaikan temperatur ke temperatur puncak lalu bertahan sebentar kemudian menurun dengan rapat ketika sumber lasan meninggalkannya.



**Gambar 2.6** Siklus termal dalam Las Busur Tangan (Musaikan,1997)

Gambar 2.6 menunjukkan siklus termal disekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Struktur mikro dan sifat mekanik dari HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 500°C. Sedangkan retak dingin yang mana hidrogen sangat memperngaruhi hal ini tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur 800°C sampai 300oC atau 100°C. (Wiryosumatro dan Okumura, 2000).

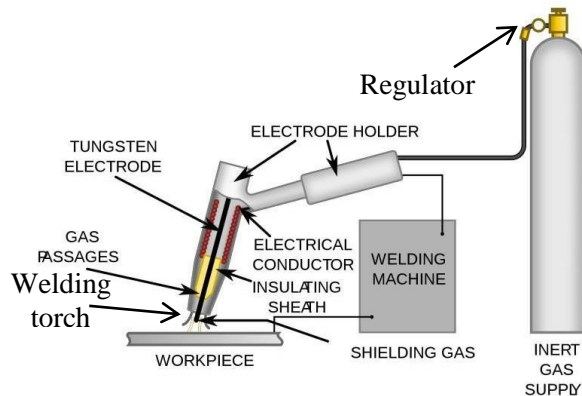
## 2.5 Pengelasan TIG

*Tungsten Inert Gas* (TIG) menggunakan elektroda tungsten yang tidak terumpan untuk satu kutub dari busur yang terlindungi dengan gas inert. Adanya gas inert sebagai gas pelindung berfungsi untuk melingdingi elektroda dan *weld pool* serta untukmenyediakan karakteristik busur yang dibutuhkan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Ketika suatu busur menggunakan gas argon sebagai gas pelindung, maka akan ada sebuah tindakan pembersihan pada permukaan pelat selama setengah siklus ketika elektrodanya positif. Tindakan pembersihan ini mencegah adanya kontaminasi dan sangat berguna dalam mereduksi porositas pada lasan. Selain gas argon, terdapat gas helium yang juga digunakan sebagai gas pelindung karena memiliki kemampuan untuk memproduksi penetrasi busur yang tinggi. Penggunaan campuran gas argon dan gas helium sebagai gas pelindung juga menimbulkan perpaduan dari dua keuntungan masing-masing gas. Untuk skema kerja pengelasan TIG dapat dilihat pada Gambar 2.7 dibawah.



**Gambar 2.7.** Skema pengelasan TIG (DED,2012)

Gambar 2.6 merupakan skema kerja dari pengelasan TIG. Fungsi dari elektroda tungsten adalah untuk mengalirkan listrik dan menghasilkan busur. Logam pengisi diberikan ke logam lasan. Gas argon sebagai gas pelindung keluar dari *gas passage*-nya. Sedangkan untuk mengatur laju gas terdapat di regulator dan flow meter. Untuk mengatur arus dan voltase diatur pada mesin las nya. Pengelasan TIG ini menggunakan polaritas DCEN dimana benda kerja dipasangkan dengan kutub positif dan elektroda tungsten dihubungkan dengan kutub negatif. Kebutuhan energi listrik tergantung pada ketebalan material yang akan dilas



dengan perkiraan antara 8kW untuk 200A hingga 30kW untuk 500A. Pengelasan TIG membutuhkan waktu latihan yang lebih lama, ketangkasan dalam pengelasan manual dan koordinasi operator yang lebih tinggi daripada pengelasan SMAW ataupun GMAW. Kombinasi TIG untuk *root pass welding* dengan SMAW ataupun GMAW sangat berguna untuk pengelasan pipa.

Pengelasan jenis ini dapat digunakan dapat digunakan untuk pengelasan alumunium, magnesium, *stainless steel*, titanium, tembaga dan paduannya, serta logam dengan ketebalan berbeda dalam baja ringan. Pengelasan ini menghasilkan mutu yang tinggi pada baja *ferrous* dan non *ferrous*. Apabila dilakukan pengelasan yang tepat, maka pengotor yang terdapat dari atmosfer dapat dihilangkan.

Tabel 2.4 merupakan tabel yang menunjukkan kebutuhan terkait spesifikasi dan parameter las untuk pengelasan CuNi 90/10. Keuntungan pada proses pengelasan jenis ini adalah dapat diaplikasikan pada material yang sangat tebal ataupun pada plat tipis, dan mampu menampilkan hasil lasan yang berkualitas. Oleh karena itu, pengelasan ini banyak digunakan secara luas, seperti pada pengelasan pipa. Hasil dari pengelasan TIG memiliki kemampuan untuk mengatasi masalah pada sambungan las. Kecepatan las yang rendah memudahkan pengamatan pada *welder* sehingga mudah untuk mengendalikan logam las selama proses pengisian dan penyatuan.

Tabel 2.3 Kebutuhan Pengelasan TIG untuk CuNi 90/10

Pass atau Weld Layer(s)		Proses	Filler Metal		Current Type & Polarity
			Classification	Ø Dia. ( mm )	
Root		TIG	A5.7 ErCuNi	1.6	DCSP
Fill dan Cap		TIG	A5.7 ErCuNi	2.4	DCSP
Arus (A)	Voltase (V)	Travel Speed (cm/min)	Shielding Gas		Heat Input (Kj/cm)
			Tipe	Flow Rate (L/min)	

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

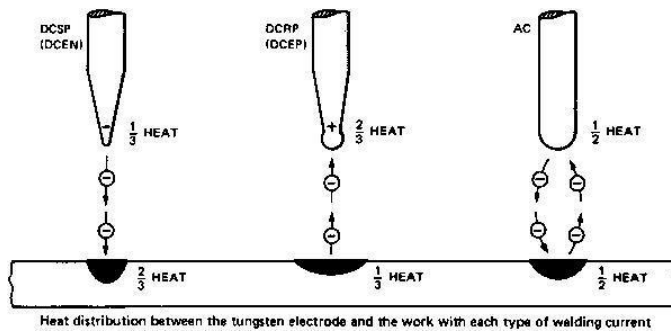


50-140	9-14	4-12	Ar	10-15	<i>Max 15</i>
90-190	10-15	5-23	Ar	10-15	<i>Max 15</i>

Sementara itu, kelemahan pada pengelasan ini terdapat pada laju pengisian yang lebih rendah dibandingkan dengan jenis pengelasan lainnya. Untuk menghasilkan pengelasan yang baik, dibutuhkan daerah sambungan yang lurus. Selain itu, pada pengelasan TIG harus dihilangkan terlebih dahulu kotoran-kotoran yang ada di sekitar spesimen yang akan di las agar terhindar dari porositas dan cacat-cacat las yang lainnya. Kecepatan udara juga harus diperhatikan. Karena jika kecepatan udara di daerah sekitar pengelasan tinggi, maka akan membuat perlindungan dari gas inert TIG menjadi berkurang sehingga hasil pengelasannya tidak maksimal. (DED, 2000)

### 2.5.1 Polaritas Pengelasan

Pengelasan ini dapat dilakukan baik dengan arus AC maupun DC. Penentuan antara AC dengan DC didasari oleh material apa yang akan dilas. Ada 3 tipe dari arus pengelasan, atau polarisasi, yang bisa diterapkan pada pengelasan TIG. Setiap tipe arus listrik memiliki keistimewaan tersendiri yang membuatnya memiliki spesifikasi yang lebih diperlukan. Perbedaan utama pada arus tersebut adalah pada distribusi panas dan derajat busur. Untuk melihat perbedaan distribusi arus dapat dilihat pada Gambar 2.8.



**Gambar 2.8** Distribusi panas pada elektroda tungsten dan kerja pada setiap tipe arus pengelasan (German Development Service, 2012)

Berdasarkan gambar di atas, didapatkan 3 tipe, yaitu DCEP, DCEN, serta AC. Berikut penjelasan dari ketiganya:

1. *Direct Current Electro Negative (DCEN)*

DCEN juga biasa disebut dengan *Direct-Current Straight Polarity (DCSP)*, benda kerja yang akan dilas dihubungkan dengan kutub positif (+) sementara elektrodanya disambungkan pada kutub negatif (-) pada mesin las DC. Polaritas DCEN menghasilkan pencarian material yang lebih banyak dibandingkan elektrodanya. Sehingga memiliki hasil pengelasan yang dalam.

2. *Direct Current Electro Positive (DCEP)*

Benda kerja yang akan dilakukan pengelasan dihubungkan dengan kutub negatif (-) dan elektrodanya dihubungkan pada kutub positif (+) pada mesin las DC. Polaritas DCEP akan menghasilkan pencairan elektroda yang lebih banyak daripada material nya. Sehingga dapat menghasilkan hasil lasan yang dangkal.

3. *Alternating Current (AC)*

AC ini merupakan arus listrik yang besar dan arahnya arus dapat berubah secara bolak-balik. AC ini merupakan setengah DCEP dan setengah DCEN. Bentuk gelombang dari arus ini berupa



gelombang sinusoida. Hal ini disebabkan karena arus ini memungkinkan terjadinya perpindahan energi yang paling efisien.

### 2.5.2 Filler Metal

*Filler* metal merupakan material yang ditambahkan dengan tujuan untuk mengisi kekosongan diantara dua logam yang akan disambung. *Filler* metal yang paling banyak digunakan dalam proses pengelasan yaitu *welding rods* dan *welding electrodes*. Berdasarkan AWS A5.6 dan AWS A5.7 yang keduanya merupakan jenis filler metal yang paling cocok untuk pengelasan paduan tembaga dengan metode TIG, komposisinya dapat dilihat pada Tabel 2.3. Selain komposisi elektroda terdapat sifat mekanik yang perlu diperhatikan yaitu sifat mekanik yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4** Komposisi Elektroda ERcNi AWS A5.7 CuNi 90/10

Cu	Ni	C	Mn	Si	P	S	Fe	Ti	Lainnya
<i>Bal</i>	29-32	0.15 <i>Max</i>	1.0 <i>Max</i>	0.25 <i>Max</i>	0.2 <i>Max</i>	0.01 <i>Max</i>	0.4-0.75	0.2-0.3	0.5 <i>Max</i>

**Tabel 2.5** Sifat Mekanik Elektroda untuk CuNi 90/10

Sifat	ERcNi AWS A5.7
Kekuatan tarik	350 Mpa
Kekuatan <i>yield</i>	140 Mpa
%Elongasi	32%

Elektroda dibuat dari tungsten dan mengandung sedikit thorium dan zirconium. Penambahan ini membuat kemampuan busur yang lebih baik dan lebih stabil. Elektroda tungsten dengan tambahan thorium digunakan untuk pengelasan DC sementara elektroda tungsten dengan zirconium digunakan untuk pengelasan AC.(Dadang, 2013)

### 2.5.3 Gas Pelindung



Gas pelindung digunakan dalam pengelasan TIG untuk mencegah kontaminasi dengan lingkungan atmosfer pada logam lasan. Kontaminasi udara dapat mengakibatkan terjadinya porositas, retak las, dan bahkan dapat merubah komposisi kimia dari material saat cair. Selain itu gas pelindung juga memiliki dampak terhadap stabilitas busur listrik. Gas dengan ionisasi potensial yang rendah memfasilitasi pengapian busur listrik dan gas pelindung yang memiliki konduktivitas termal cenderung menambah stabilitas busur.

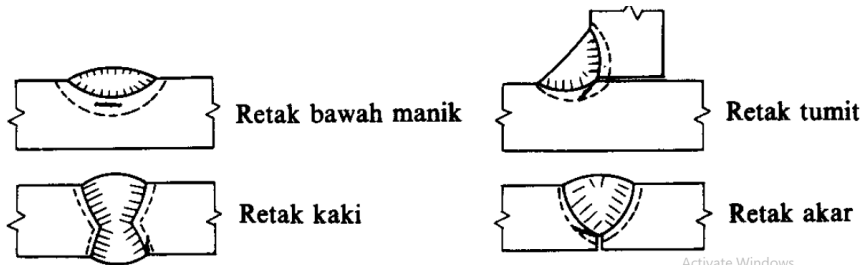
Argon merupakan jenis gas pelindung yang paling sering digunakan dalam pengelasan TIG. Argon memiliki potensial ionisasi yang rendah dan lebih berat dari udara, sehingga menyediakan perlindungan yang bagus terhadap *weld pool* cair. Argon juga lebih murah dari helium. Laju aliran dari gas pelindung tergantung pada ketebalan lasan, biasanya untuk argon sekitar 4-10 l/min dan untuk helium 10-15 l/min. Untuk penggunaan di pengelasan biasanya menggunakan gas argon dengan kemurnian 99,995%. (Pires dkk, 2006)

## **2.6 Cacat Pada Pengelasan**

### **2.6.1 Retak Las**

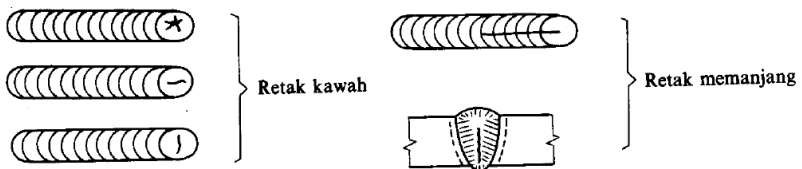
Retak las dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok retak dingin dan retak panas. Retak dingin adalah retak yang terjadi di daerah las pada temperatur dibawah temperatur transformasi martensit yang tingginya kira-kira 300°C sedangkan retak panas adalah retak yang terjadi pada temperatur diatas 550°C. retak dingin tidak hanya bisa terjadi di daerah HAZ namun juga pada logam las. Retak dingin pada HAZ sering terjadi dan dapat dilihat dalam Gambar 2.9. retak dingin utama pada daerah ini adalah retak pada daerah dibawah manik las, retak akar dan retak kaki. Sedangkan retak dingin pada logam las biasanya adalah retak memanjang dan melintang .





**Gambar 2.9** Berbagai Jenis Retak Dingin (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

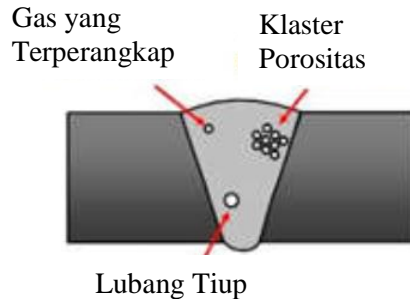
Untuk retak panas dibagi dalam dua kelas yaitu retak karena pembebasan tegangan pada daerah pengaruh panas yang terjadi pada temperatur antara  $550^{\circ}\text{C}$ - $700^{\circ}\text{C}$  dan retak yang terjadi pada temperatur diatas  $900^{\circ}\text{C}$  yang terjadi saat proses pembekuan logam las. Retak panas yang sering terjadi pada logam las karena pembekuan biasanya berbentuk retak kawah dan retak memanjang seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Beberapa contoh Retak Panas (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

Untuk menghindari retak las ada beberapa usaha yang bisa dilakukan yaitu menggunakan elektroda dengan fluks yang mempunyai kadar hydrogen rendah. Penggunaan gas mulia juga memungkinkan untuk mengurangi adanya retak las. Selain itu tegangan yang terjadi pada daerah las harus diusahakan serendah mungkin dengan pemilihan dan pengawasan rancangan serta cara pengelasan yang tepat. (Wiryosumarto dan Okumura, 2000)

### 2.6.2 Porositas



**Gambar 2.11** Cacat Porositas (Rogers, 2013)

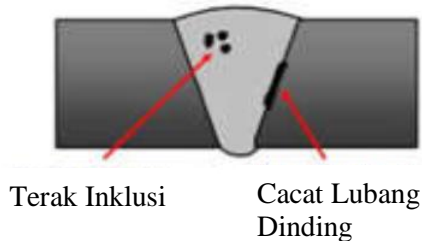
Gambar 2.11 merupakan contoh gambar porositas. Porositas terjadi bila rongga-rongga gas yang kecil terperangkap selama proses pendinginan. Rongga-rongga tersebut disebabkan karena tiga macam cara pembentukan gas, yaitu pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan, reaksi kimia didalam logam las, penyusupan gas ke dalam atmosfer busur. Cacat ini ditimbulkan oleh arus listrik yang terlalu tinggi, busur nyala yang terlalu panjang, dan prosedur pengelasan yang buruk. Beberapa unsur seperti seng, cadmium dan fosfor memiliki temperatur didih yang rendah sehingga penguapan unsur tersebut dapat menyebabkan porositas pada saat pengelasan. Porositas dapat dikurangi dengan cara menambah travel speed dan menggunakan filler metal yang memiliki presentase yang kecil dari unsur-unsur tersebut. (AWS, 1996). Selain itu bisa juga dengan menaikkan laju aliran gas pelindung karena dengan menaikkan gas pelindung dapat menekan gas hidrogen untuk keluar dari lasan. membersihkan permukaan dengan pelarut organik seperti thinner, benzin, acetone dan methanol juga dapat mengurangi porositas.

### 2.6.3 Slag Inclusion

Gambar 2.12 merupakan salah satu gambar dari cacat las yaitu *slag inclusion*. Slag Inclusion adalah partikel kontaminan yang terperangkap dalam *weld metal*. Hal ini dapat terjadi akibat

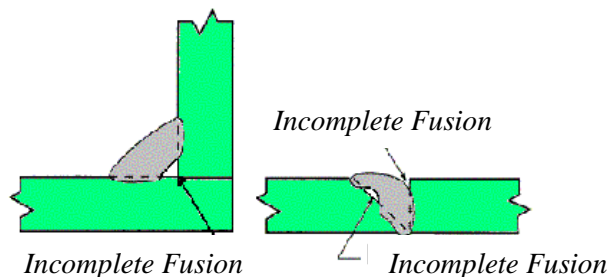


adanya pembersihan permukaan yang kurang dan juga fluks yang masuk ke *weld metal*.



**Gambar 2.12** Cacat Las *Slag Inclusion* (Rogers, 2013)

#### 2.6.4 *Incomplete Fusion*



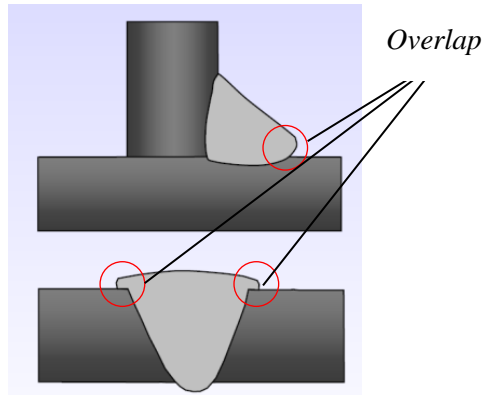
**Gambar 2.13** Cacat last *Incompletion Fusion* (Rogers, 2013)

Gambar 2.13 merupakan hasil lasan yang tidak tersambung dengan sempurna. Cacat ini dapat disebabkan oleh kesalahan penggunaan besar arus, kecepatan pengelasan terlalu tinggi, pemilihan elektroda yang tidak tepat, maupun kesalahan pengealsan.

Cara mengatasi nya adalah sebagai berikut :

- Memperbaiki posisi pengelasan
- Penggunaan arus harus sesuai dengan prosedur
- Pemilihan elektroda yang sesuai
- Kecepatan las yang sesuai dengan prosedur.

### 2.6.5 Overlap



**Gambar 2.14** Ilustrasi *Overlap* (Rogers, 2013)

*Overlap* adalah suatu keadaan ketidaksempurnaan pada bagian *toe* atau *root* pada pengelasan yang disebabkan oleh lelehan filler metal atau logam las cair yang mengalir ke permukaan *base metal* tanpa menyatu dengan *base metal*-nya. Ilustrasi terjadinya overlap dapat dilihat pada Gambar 2.14. Sedangkan penyebab dari terjadinya overlap antara lain :

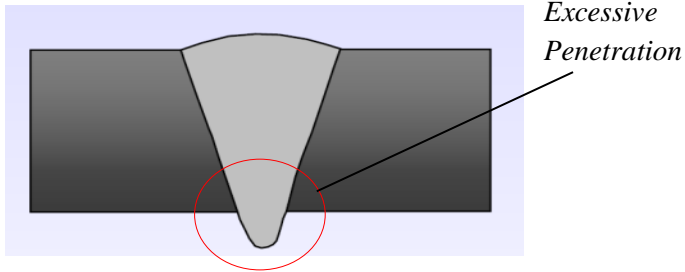
- a. Kontaminasi dari pengotor
- b. *Travel speed* yang rendah
- c. Teknik pengelasan yang kurang baik, biasanya karena operator yang kurang handal
- d. Arus yang terlalu rendah

### 2.6.6 Excessive Penetration

*Excessive Penetration* adalah kondisi dimana manik las yang terdapat di bagian *root* mengalir secara berlebih kebawah. Manik las yang terbentuk dan dianggap mengalami *excessive penetration* adalah ketika terbentuk berlebihan menelbihi spesifikasi yang digunakan. Ilustrasi dari *excessive penetration* dapat dilihat pada Gambar 2.15 dibawah. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya *excessive penetration* adalah :



- a) *Root face* terlalu kecil
- b) *Root gap* terlalu besar
- c) Arus dan/atau voltase yang terlalu besar
- d) *Travel speed* yang terlalu rendah



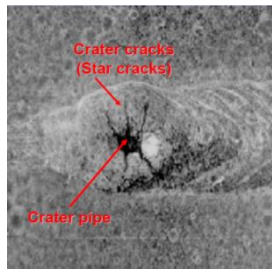
**Gambar 2.15** Ilustrasi *Excessive Penetration*(Rogers, 2013)

### 2.6.7 Crater (Kawah)

*Crater* adalah depresi yang tertinggal di *weld metal* yang mana terjadi apabila bagian tengah dari *weld pool* membeku terlebih dahulu sebelum bagian luarnya sehingga menarik bagian tengahnya saat pembekuan. Penyebabnya antara lain :

- a. Terlalu cepatnya laju pembekuan
- b. Terjadi reaksi deoksidasi
- c. Kontaminasi

Terbentuknya *crater* ini dapat diminimalisir dengan memperhandal kemampuan las bagi operator dan membuat cembung pada tiap-tiap lasan. Untuk gambar *crater* sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.16.



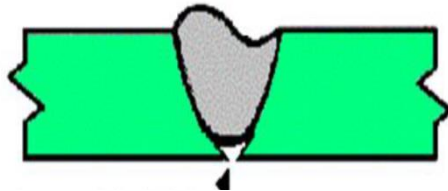
**Gambar 2.16** Bentuk dari *Crater* (Rogers, 2013)

### 2.6.8 Lack of Penetration

*Lack of Penetration* adalah penetrasi yang tidak benar pada *weld metal* melalui sambungan atau *weld metal*-nya sehingga tidak memungkinkan untuk memenuhi seluruh kedalaman *joint root*. Efek dari cacat jenis ini dapat menginisiasi tegangan yang dapat membuat retak. Penyebab dari cacat jenis ini antara lain :

- a. *Root gap* terlalu kecil
- b. *Travel speed* yang terlalu tinggi
- c. *Heat input* yang terlalu rendah
- d. Terlalu lebarnya diameter elektroda

Untuk mencegah cacat jenis ini adalah dengan mempersiapkan dengan baik sambungan sebelum di las, merencanakan *heat input* dan *travel speed* dengan baik dan menggunakan electrode yang cocok. Untuk ilustrasi dari cacat jenis ini dapat dilihat pada Gambar 2.17



*Incomplete Joint  
Penetration*

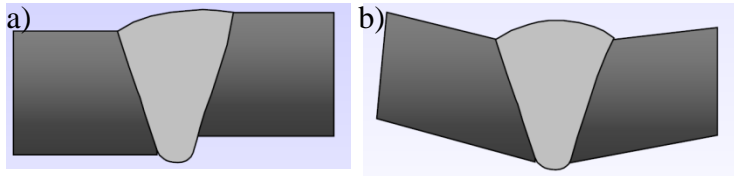
**Gambar 2.17** *Lack of Penetration* (Rogers, 2013)

### 2.6.9 Misalignment

*Misalignment* adalah bentuk sambungan yang tidak lurus tidak bergaris. Berdasarkan jenisnya terdapat 2 jenis *misalignment* yaitu *linear misalignment* dan *angular misalignment*. *Linear misalignment* adalah sambungan yang tidak lurus diukur dari pelat yang paling bawah terhadap *bead cap* yang paling tinggi. Sedangkan *angular misalignment* adalah sambungan yang tidak lurus diukur dari sudut yang terbentuk dari



kedua pelat. Ilustrasi dari cacat ini dapat dilihat pada Gambar 2.18. cacat ini biasanya terjadi akibat preparasi yang kurang baik dan penjepitan yang terlalu kuat saat pengelasan.



**Gambar 2.18.** a)*Linear Misalignment*, b)*Angular Misalignment* (Rogers, 2013)

## 2.7. Kekerasan

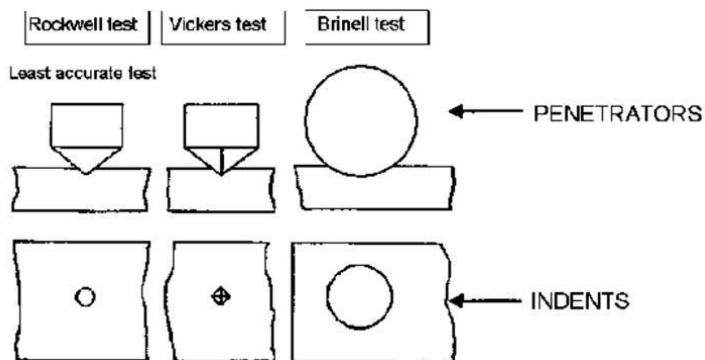
Salah satu sifat mekanik yang penting untuk diperhatikan pada setiap material adalah kekerasan (*hardness*). Kekerasan adalah ukuran dari ketahanan material untuk bertahan pada deformasi plastis. Pengujian kekerasan dahulu adalah berdasarkan unsur penyusun material dengan skala yang dibuat untuk menguji kekuatan material satu untuk merusak material lainnya yang lebih halus. Awalnya dibuatlah pengukuran secara kualitatif dengan menggunakan skala Mosh, yang diatur antara 1 dari yang paling lunak menuju ke 10 yang paling keras. Pengukuran secara kualitatif tersebut telah dikembangkan selama bertahun-tahun dengan menggunakan indenter kecil yang ditekan pada permukaan material yang diuji, dengan kondisi beban yang telah diatur. Ukuran kedalaman dari hasil indentasi tadi merupakan *hardness number*. Semakin lembut suatu material dan titik indentasinya makin besar dan dalam, maka nilai kekerasannya akan kecil. Uji kekerasan dilakukan lebih sering daripada uji mekanik yang lain karena:

1. Sempel dan tidak mahal – biasanya tidak membutuhkan spesimen spesial yang harus dipreparasi, dan biaya tesnya sangat murah

2. Pengujian tidak merusak – spesimen uji tidak akan patah ataupun terdeformasi
3. Sifat mekanik lain mungkin butuh data kekerasan, seperti contohnya uji tarik

(Callister, 2013)

Uji kekerasan juga biasa digunakan untuk mengevaluasi hasil pengelasan. Metode uji kekerasan yang paling sering digunakan adalah dengan metode Brinell, Vickers dan Knoop yang menggunakan area indentasi dibawah beban sebagai ukuran kekerasan, sementara pengujian Rockwell mengkorelasikan kekerasan ke kedalaman dari indentasi dibawah beban. Untuk perbedaan beberapa indenter dapat dilihat pada Gambar 2.19 dimana masing-masing indenter memiliki bentuk yang berbeda.



**Gambar 2.19** Penggunaan Indenter pada masing-masing pengujian Kekerasan (Dieter,1998)

Hasil dari indentasi pun menjadi berbeda akibat adanya perbedaan bentuk indenter. Uji kekerasan mampu menyediakan informasi tentang perubahan metalurgi akibat pengelasan. Pada baja konstruksi pendinginan cepat dari temperature HAZ dapat menyebabkan terbentuknya martensit yang memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada *base metal*. Pada daerah HAZ, ketika temperature maksimal menurun, kekerasan mungkin juga lebih rendah dari *base metal* akibat adanya tempering.





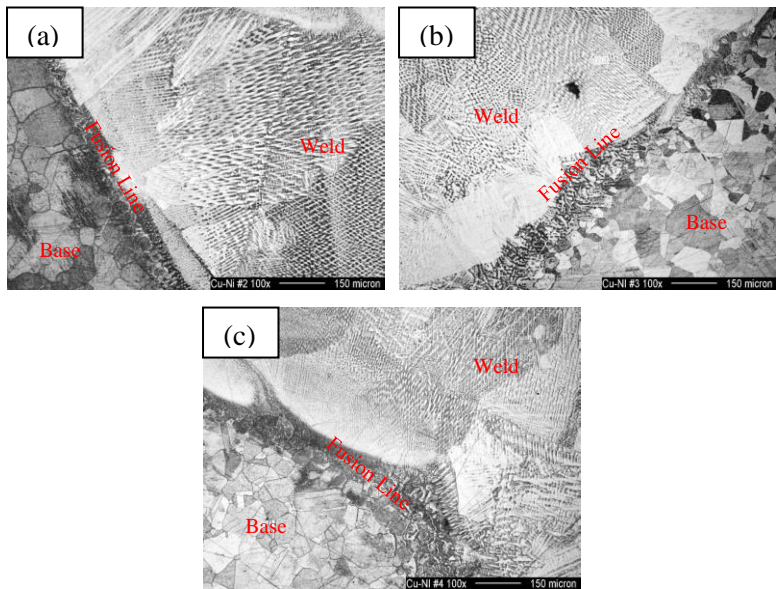
Nilai kekerasan dari sambungan las biasanya sensitive terhadap beberapa kondisi seperti *heat input*, *preheat*, atau *interpass temperature*, komposisi elektroda dan ketebalan plat. Indentasi yang diberikan spesifik terhadap area yang diinginkan seperti *weld center line*, bagian *face* atau *root* dari deposit, daerah HAZ, dan pada *base metal*. Penggunaan uji kekerasan tergantung pada kekerasan atau kekuatan dari material, ukuran dari sambungan las, dan tipe informasi yang akan diinginkan. Sebagai contoh, uji Brinnel memberikan indentasi yang besar, sehingga cocok untuk digunakan pada pengelasan yang lebar seperti pada pelat yang tebal. Sedangkan uji Rockwell dan Vickers memberikan indentasi yang kecil sehingga cocok untuk beberapa daerah seperti daerah HAZ.

Kekerasan dengan kekuatan pada beberapa material telah mampu dikorelasikan sebagai contoh korelasi dari kekerasan dari karbon steel dengan kekuatannya. Korelasi ini harus digunakan dengan hati-hati terhadap sambungan las dikarenakan keberagaman pembentukan sambungan. Kekerasan dapat dihubungkan dengan sifat pengelasan. Kekerasan dipengaruhi oleh komposisi dari base metal dan weld metal, efek metalurg dari proses pengelasan, laju pendinginan, cold working dari metal, perlakuan panas, dan banyak faktor lainnya. (AWS, 1976)

## 2.8 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini dan terlebih dahulu dilakukan dapat dijadikan referensi, diantaranya yaitu

- Penelitian yang dilakukan oleh Devletian dan Sullivan (2006) mengenai “Flux Cored Arc Welding of CuNi 90/10 Piping with CuNi 70/30 Filler Metal” yakni penggunaan pengelasan FCAW dengan variasi elektrode menghasilkan struktur mikro seperti Gambar 2.20 dibawah.



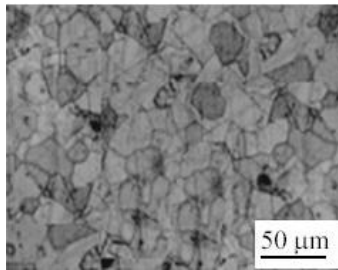
**Gambar 2.20** Hasil Struktur Mikro Pengelasan CuNi 90/10 dengan Elektroda (a)32.1wt%Ni (b)32.39wt%Ni (c)32.6wt%Ni (Devletian dan Sullivan, 2006)

Berdasarkan hasil pengamatan daerah *weld metal* mengandung lebih banyak Ni daripada *base metal*. Daerah *weld metal* menghasilkan struktur *full dendritic* dengan inti dendrite yang kaya akan Ni sedangkan di daerah *interdendritic* kaya akan Cu. Hal ini dikarenakan Ni yang memiliki titik Solidus yang lebih tinggi sehingga membeku terlebih dahulu dan mengintir terlebih dahulu. Setelah itu Cu akan membeku dan membentuk struktur disekitar Ni.

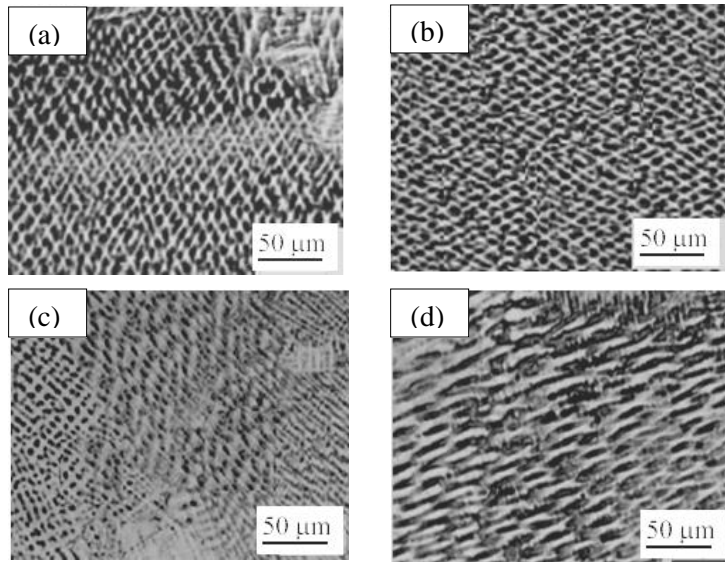
- Penelitian yang dilakukan oleh Chakravarthy(2018), mengenai “*Study of Mikrostructure and Mechanical Properties of 90%Cu10%Ni Alloy Joints Using Laser Beam Welding*” menggunakan variasi *travel speed*



1m/min, 1.5m/min, 2m/min dan 2.5m/min menghasilkan struktur mikro yang kasar di seluruh daerah *base metal*. Untuk daerah *weld metal*, pengelasan *Laser Beam Welding* dengan *travel speed* 2m/min menghasilkan butiran paling halus dibandingkan dengan *travel speed* 1m/min, 1.5m/min dan 2.5m/min. Hal ini mengakibatkan beberapa sifat mekanik dari pengelasan dengan *travel speed* 1m/min memiliki sifat mekanik(kekerasan dan tarik) yang lebih baik daripada parameter las yang lain. Untuk variasi *travel speed* 2.5m/min menunjukkan butiran yang paling kasar dibandingkan dengan pengelasan dengan parameter las yang lain sehingga memiliki sifat mekanik(kekerasan dan tarik) yang paling buruk dibandingkan dengan variasi lain. Untuk gambar struktur mikro *base metal* dapat dilihat pada Gambar 2.21. Sedangkan untuk struktur mikro di daerah *weld metal* masing-masing pengelasan dapat dilihat pada Gambar 2.22.

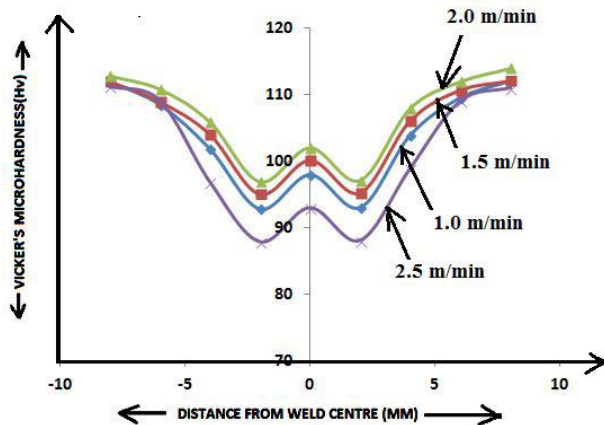


**Gambar 2.21** Hasil pengamatan struktur mikro *Laser Beam Welding* pada *base metal*(Chakravarthy, 2018)



**Gambar 2.22** Hasil pengamatan struktur mikro *Laser Beam Welding* pada *weld metal* dengan *travel speed* (a)1m/min (b)1.5m/min (c) 2m/min (d)2.5m/min (Chakravarthy, 2018)

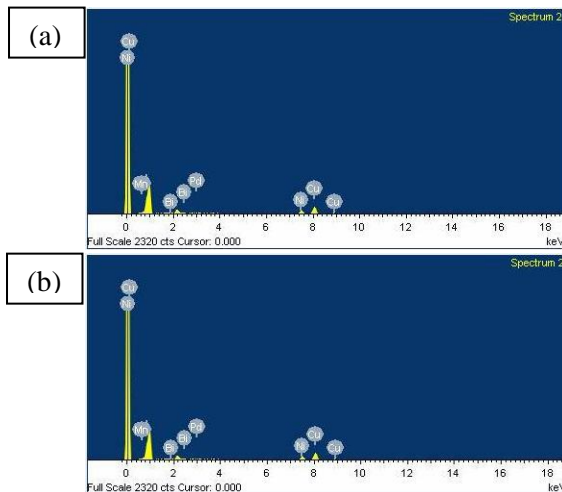
Dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian sifat mekanik yaitu kekerasan dengan menggunakan mikro hardness test. Untuk grafik hasil kekerasannya dapat dilihat pada Gambar 2.23.



**Gambar 2.23** Hasil uji Kekerasan dengan *Micro Hardness Testing* (Chakravarthy, 2018)

Uji kekerasan diambil pada lokasi yang berbeda-beda dengan arah transversal dari *weld metal*. Berdasarkan Gambar 2.22 dapat dilihat *base metal* memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada *weld metal*. Hal ini dikarenakan terjadi *local softening* pada material yang dilas karena presipitasi yang terdisolusi dan adanya siklus termal las yang tidak mengijinkan pengintian dan pertumbuhan presipitat. Untuk hasil kekerasan tertinggi pada *weld metal* didapatkan oleh spesimen dengan *travel speed* 2m/min. Hal ini dikarenakan spesimen dengan parameter ini memiliki butiran yang lebih halus dibandingkan dengan parameter lain.

Uji EDS juga dilakukan untuk menunjang data penelitian dimana mengambil spesimen dengan kekerasan yang paling tinggi dan paling rendah. Untuk hasil EDS dapat dilihat pada Gambar 2.24.



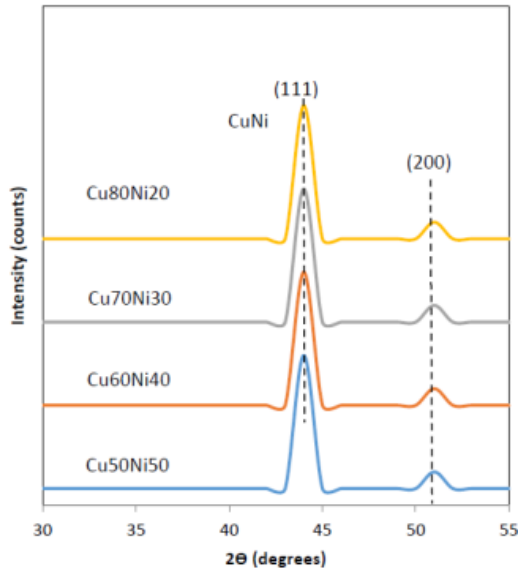
**Gambar 2.24** Hasil Uji EDS pada weld metal *travel speed* (a) 2m/min (b) 2.5m/min(Chakravarthy, 2018)

Dari hasil uji EDS didapatkan pada spesimen dengan *travel speed* 2m/min memiliki komposisi wt%Cu, wt%Ni yang lebih tinggi daripada spesimen dengan *travel speed* 2.5m/min. Selain itu pada spesimen dengan *travel speed* 2.5m/min memiliki pengotor yang lebih banyak daripada spesimen dengan *travel speed* 2m/min. Hal ini lah yang mendukung mengapa pada spesimen dengan *travel speed* 2m/min memiliki struktur mikro dan kekerasan yang lebih baik daripada variasi lain.

- Pada penelitian yang dilakukan oleh Yusop dkk(2015), mengenai “*Struktural and Electrical Characterizations of CuNi Thin Film Resistor*” menerangkan hasil XRD dengan



komposisi CuNi yang berbeda-beda. Untuk gambar hasil XRD dapat dilihat pada Gambar 2.25 dibawah.

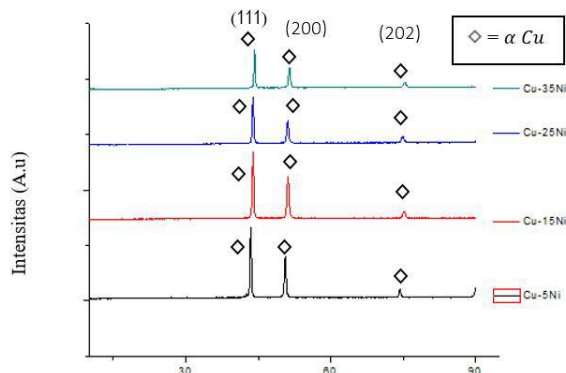


**Gambar 2.25** Hasil Uji XRD Sample CuNi dengan Komposisi yang Berbeda( Yussop, 2015)

Analisis XRD mengungkapkan semua sampel menunjukkan struktur kubik dari dua bidang (111) dan (200) Cu-Ni, dengan nama fasa copper. Tidak ada puncak pengotor yang terdeteksi pada semua sampel karena hanya dua puncak yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa refleksi bergeser ke sudut yang lebih rendah karena kandungan Cu meningkat. *Peak Ni* tidak muncul pada hasil pengujian XRD ini. Hal ini disebabkan karena unsur Ni larut sempurna ke dalam unsur Cu. Struktur kristal atom Ni memiliki kesamaan dengan atom Cu yaitu *Face Centered Cubic*. Hal itu diasumsikan karena komposisi tembaga maka perubahan kisi yang ditempati oleh Cu dan Ni menyebabkan sampel dengan kandungan tembaga

lebih tinggi pada susut kecil. Konstanta kisi (a) yang diperoleh dari jarak antarplanar (d) nilai yang sesuai dengan bidang (111) adalah 0,8 Å yang lebih rendah dari konstanta kisi aktual Cu dan Ni sehingga memberikan kontribusi terhadap pembacaan.

- Pada penelitian yang dilakukan oleh Risky (2017), mengenai “Variabel Komposisi Unsur Nikel (Ni) Pada Pengecoran Tembaga-Nikel Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro Dan Ketahanan Korosi Guna Aplikasi Pipa Bawah Laut” melakukan analisa XRD terhadap hasil coran CuNi yang dapat dilihat pada Gambar 2.26.



**Gambar 2.26** Hasil Uji XRD Spesimen Coran CuNi dengan Komposisi yang Berbeda (Rizky, 2017)

Dari hasil pengujian XRD seluruh paduan logam, *peak* yang muncul menunjukkan *peak* Cu. *Peak* Ni tidak muncul pada hasil pengujian XRD ini. Hal ini disebabkan karena unsur Ni larut sempurna ke dalam unsur Cu. Struktur kristal atom Ni memiliki kesamaan dengan atom Cu yaitu *Face Centered Cubic*, memiliki ukuran atom yang relative sama, dan Elektronegativity yang tidak terlalu jauh. Jika dipadukan, atom Ni menggantikan atom Cu pada struktur kristal sehingga membentuk larutan

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

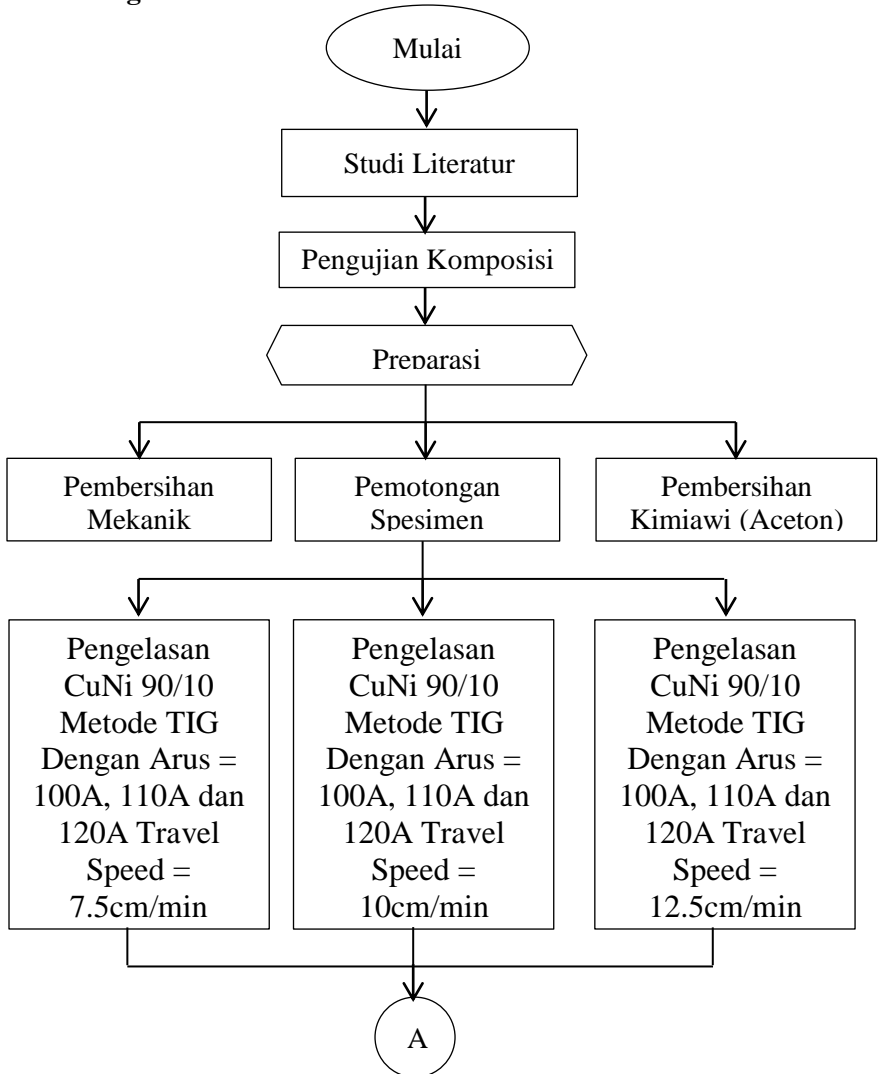


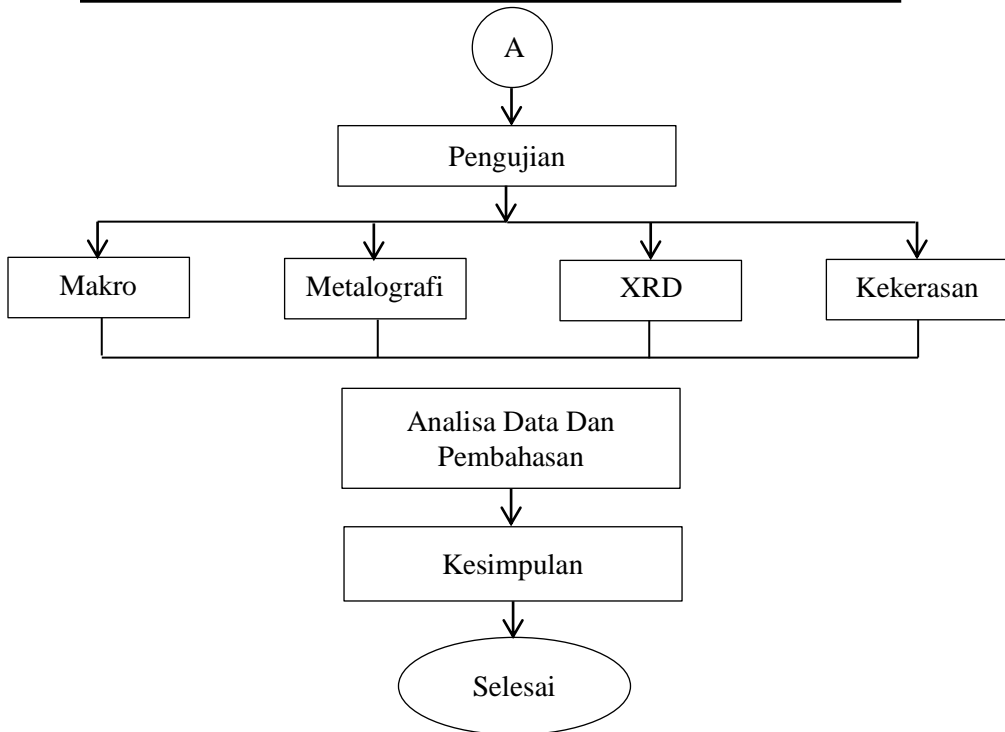


padat substitusional. Larutan padat substitusi yang terbentuk tersebut adalah fasa  $\alpha$ . Di dalam fasa  $\alpha$  tersebut, unsur Ni merupakan unsur yang terlarut di dalam unsur pelarut Cu. Oleh karena itu, fasa yang muncul di hasil pengujian XRD ini adalah fasa  $\alpha$  Cu karena unsur Cu memiliki komposisi yang lebih banyak sebagai pelarut

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini antara lain dengan studi literature dan pengujian. Studi literatur mengacu pada *handbook*, buku penunjang, standar internasional, serta jurnal penelitian. Penelitian yang dilakukan adalah uji makro, uji metalografi, uji XRD dan uji kekerasan.

### 3.3 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

---

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN



1. Material Uji

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah CuNi 90/10 dengan ketebalan 2,3 mm dan panjang 100mm



sebanyak 9 buah

**Gambar 3.2** Material Uji CuNi 90/10

2. Elektroda

Elektroda yang digunakan pada proses pengelasan dalam penelitian ini adalah ERCuNi sesuai standar AWS A5.7



**Gambar 3.3** Elektroda ERCuNi

3. Gas Argon

Gas Argon yang digunakan pada proses pengelasan dalam penelitian ini memiliki kemurnian 99,99%

---

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**



**Gambar 3.4** Tabung Gas Argon

### 3.4 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penggaris  
Digunakan untuk mengukur spesimen uji dan uji makro.



**Gambar 3.5** Penggaris

2. Jangka Sorong  
Digunakan untuk mengukur lebar dan tinggi *weld metal*



**Gambar 3.6** Jangka Sorong

3. Kamera

Digunakan untuk mendokumentasikan setiap kegiatan selama penelitian berlangsung.



**Gambar 3.7** Kamera

4. Gerinda

Digunakan untuk memotong spesimen uji menjadi ukuran yang diinginkan.



**Gambar 3.8** Gerinda



5. Mesin Las TIG

Digunakan untuk melakukan pengelasan TIG spesimen uji.



**Gambar 3.9** Mesin Las TIG

6. Mesin *Grinding* dan *Polishing*

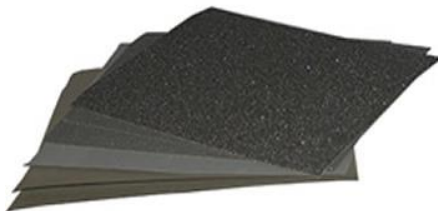
Digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen uji sebagai preparasi uji metalografi.



**Gambar 3.10** Mesin Metal Polish

7. Kertas Amplas *Grade 80 – 2000*

Digunakan untuk melakukan preparasi spesimen uji metalografi.



**Gambar 3.11** Kertas Amplas

8. Larutan Etsa nomor 40 pada ASTM E407  
Digunakan untuk melakukan etsa pada spesimen uji sebelum dilakukan uji metalografi.
9. Spektrometer  
Digunakan untuk melakukan uji komposisi
10. Mesin Uji kekerasan  
Digunakan untuk melakukan uji kekerasan.
11. Mikroskop Optik  
Digunakan untuk melakukan uji metalografi.
12. *X-Ray Diffraction*  
Digunakan untuk melakukan uji fasa/senyawa.

### **3.5 Tahapan Penelitian**

Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter Pengelasan  
Agar mendapatkan hasil pengelasan yang baik, maka dibutuhkan parameter pengelasan yang sesuai. Parameter pengelasan disesuaikan dengan variasi yang ingin diujikan pada spesimen uji sebagai berikut:

---

**Tabel 3.1** Parameter Pengelasan

---

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

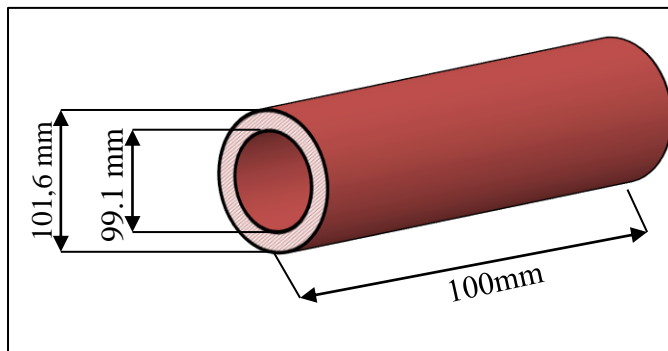




<i>Voltage (Volts)</i>	12
<i>Speed of Welding (cm/menit)</i>	7.5, 10 dan 12.5
<i>Current (Ampere)</i>	100, 110 dan 120
<i>Preheat (°C)</i>	-
<i>Type &amp; Polarity</i>	DCSP
<i>Filler</i>	ERCuNi
<i>Groove</i>	60°
Posisi Pengelasan	2G
<i>Flowrate</i>	10L/min

## 2. Preparasi Material Uji

Preparasi material uji CuNi 90/10 diawali dengan memotong pipa dengan tebal 2.3 mm menjadi beberapa potongan dengan diameter 101,6mm dan panjang 50mm. Kemudian membersihkan daerah spesimen uji yang nantinya akan dilakukan pengelasan TIG. Pembersihan spesimen uji ini dengan dua cara, yang pertama dengan dibersihkan secara mekanik yakni dengan SiC paper dan yang kedua dengan kimiawi yakni dengan *acetone*. Setelah dibersihkan material tidak boleh terkontaminasi dengan tangan. Dan setelah itu harus langsung dilas.



**Gambar. 3.12** Ukuran spesimen yang siap untuk dilas



3. Pengelasan TIG

Pada penelitian kali ini, proses pengelasan menggunakan metode *Tungsten Inert Gas*. Sebelum melakukan pengelasan, perlu dilakukan perhitungan *heat input* untuk menentukan seberapa besar masukan panas yang diterima saat pengelasan. Untuk perhitungan *heat input* menggunakan rumus sebagai berikut :

$$H = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{V}$$

H = *Heat Input* (HI) (kJ/mm)

E = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

V = Kecepatan pengelasan (mm/s)

$\eta$  = Efisiensi pengelasan

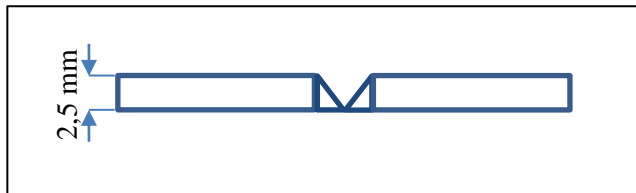
Dengan menggunakan voltase sebesar 12 volt, arus sebesar 100A, 110A dan 120A serta *travel speed* 7.5cm/min, 10cm/min dan 12.5cm/min maka dihasilkan *heat input* sebesar 576J/mm, 633.6J/mm, 691.2J/mm, 432J/mm, 475.2J/mm, 518.4J/mm, 345.6J/mm, 380.2J/mm dan 414.7J/mm.

Untuk pengelasan dengan TIG dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- i) Mempersiapkan mesin las TIG.
- ii) Mempersiapkan spesimen uji yang akan dilas.
- iii) Memposisikan spesimen uji dengan posisi pengelasan mendatar.
- iv) Meletakkan spesimen yang akan dilas di atas *backing plate*.
- v) Mempersiapkan elektroda dan gas argon.



- vi) Mengatur arus, tegangan, serta kecepatan pengelasan sesuai dengan parameter pengelasan yang telah ditentukan.
- vii) Setelah melakukan persiapan alat-alat pengelasan, maka dilakukan proses pengelasan
- viii) Setelah proses pengelasan selesai, dilakukan pendinginan dengan udara terbuka.



**Gambar 3.13** Desain Spesimen sebelum Dilas

#### 4. Preparasi Spesimen Uji

Setelah proses pengelasan dilakukan, selanjutnya spesimen uji diberi tanda sesuai dengan parameter pengelasan yang dilakukan. Spesimen juga disesuaikan dengan dimensi yang tertera pada standar di setiap pengujian yang akan dilakukan.

#### 5. Proses Pengujian Spesimen

Proses pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### i) Pengujian Makro

Pengujian makro dilakukan untuk mengukur lebar dan tinggi *weld metal* dari hasil pengelasan pada spesimen uji dengan menggunakan kontak visual secara langsung dan diukur menggunakan jangka sorong. Selain dengan jangka sorong, untuk menentukan luasan dari *weld metal* digunakan aplikasi ImageJ sehingga pengukuran luasan lebih akurat. Tahapan pengukuran luas *weld metal* dengan menggunakan ImageJ adalah sebagai berikut :



- (1) Membuka aplikasi ImageJ, lalu membuka file yang akan diukur luasannya. File yang dibuka dalam bentuk gambar (jpg)
  - (2) Membuat garis sebagai skala dengan menggunakan fitur pembuat garis lurus yang bernama “Straight”
  - (3) Klik “Analyze” pada menu lalu pilih “Set Scale”,
  - (4) Pada sub menu tersebut silahkan menentukan jarak yang diketahui di subsub menu “Known Distance”.
  - (5) Mengatur satuan dengan merubah “Unit” dengan satuan yang diinginkan, klik “Ok” setelah semua selesai diatur.
  - (6) Pada daerah yang ingin diukur luasannya, pilih fitur “Polygon Selection” untuk membuat garis tepi untuk luasan yang ingin ditentukan.
  - (7) Setelah luasan selesai digambar dengan “Polygon Selection” pilih sub menu “Measure” dari menu “Analyze”, dan hasilnya akan keluar dalam bentuk tabel luasan.
- ii) Pengujian Metalografi
- Pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui fasa, bentuk, serta ukuran struktur mikro pada daerah *weld metal*, *fusion line* dan *base metal*. Selain itu juga untuk memprediksi transformasi yang terjadi selama proses pengelasan ataupun pendinginan setelah pengelasan. Pengujian metalografi ini menggunakan standar ASM Volume 09 dengan langkah-langkah sebagai berikut:
- (1) Tahap Persiapan
    - (a) *Cutting*  
Pemotongan spesimen dilakukan dengan menggunakan gergaji mesin ataupun manual.
    - (b) *Mounting*



Membuat pegangan untuk mempermudah pemegangan spesimen uji saat proses *grinding*.

(c) *Grinding*

Menggosok spesimen uji menggunakan kertas amplas silikon karbida mulai *grade* 80 hingga *grade* 2000.

(d) *Polishing*

Memoles spesimen uji dengan pasta alumina dengan tujuan memastikan tidak ada goresan pada bagian permukaan.

(e) *Etching*

Mengetsa permukaan spesimen uji dengan tujuan mengkorosikan permukaan uji menggunakan larutan etsa *Glyceria* sebelum dilihat di bawah mikroskop optik.

(2) Tahap Pengamatan

Langkah ini bertujuan untuk mengamati struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik. Pengamatan dilakukan dengan beberapa kali perbesaran. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material FTI-ITS dengan menggunakan mikroskop optik Olympus BX51M-RF. Untuk gambar mikroskop optic dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 3.14** Gambar Mikroskop Optik

Setelah didapatkan hasil struktur mikro, dilakukan perhitungan jumlah butir untuk menentukan seberapa banyak butir yang terdapat dalam luasan tertentu. Perhitungan butir ini dengan metode Jeffries yang sesuai dengan ASTM E112. Untuk langkah-langkah perhitungan Jeffries adalah sebagai berikut :

- (a) Memilih hasil struktur mikro dari masing-masing spesimen
- (b) Membuat lingkaran uji pada gambar spesimen, biasanya dengan diameter  $5000 \text{ mm}^2$
- (c) Menghitung butir yang berpotongan dengan lingkaran uji
- (d) Menghitung butir yang ada didalam lingkaran uji
- (e) Memasukkan jumlah butir yang ada didalam lingkaran uji dan yang berpotongan kedalam



rumus perhitungan Jeffries untuk mengetahui jumlah butir dalam luasannya

Untuk rumus perhitungan metode Jeffries seperti pada rumus dibawah ini

$$N_A = f \left( N_{\text{Inside}} + \frac{N_{\text{Intercepted}}}{2} \right)$$

Dimana :

- $N_A$  = Jumlah butir per millimeter persegi  
 $f$  = Faktor Jeffries, didapatkan dari  $f = 0.0002M^2$   
 $M$  = Perbesaran  
 $N_{\text{Inside}}$  = Jumlah butir yang secara keseluruhan didalam lingkaran uji  
 $N_{\text{Intercepted}}$  = Jumlah butir yang berpotongan dengan lingkaran uji

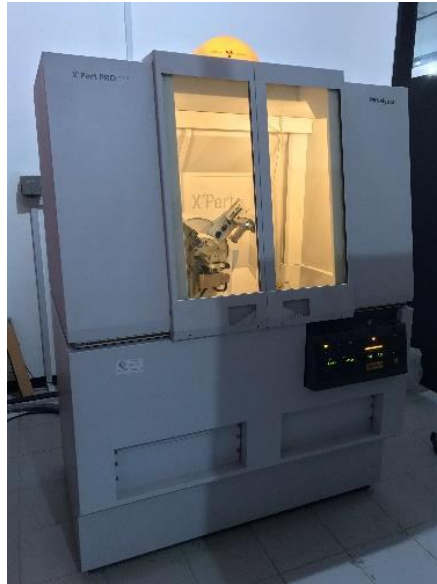
### iii) Pengujian XRD

Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui fasa/senyawa yang terbentuk pada spesimen uji setelah dilakukan variasi proses pengelasan. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS. Langkah-langkah pengujian XRD adalah sebagai berikut:

- (1) Memotong spesimen uji menggunakan gergaji.
- (2) Meratakan permukaan yang akan diamati terlebih dahulu menggunakan kertas amplas
- (3) Melakukan pengujian.



Untuk gambar alat uji XRD dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



**Gambar 3.15** Alat uji XRD

iv) Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan (*hardness test*) dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan di daerah *base metal*, *fusion line*, dan *weld metal*. Standar pengujian kekerasan yang digunakan adalah metode vickers berdasarkan ASTM E92. Pengujian ini dilakukan menggunakan mikrovickers dengan *Microhardness Tester WILSON 402MVD* yang terdapat pada Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material FTI-ITS. Untuk gambar dari alat uji kekerasan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:





**Gambar 3.16** Alat uji Kekerasan

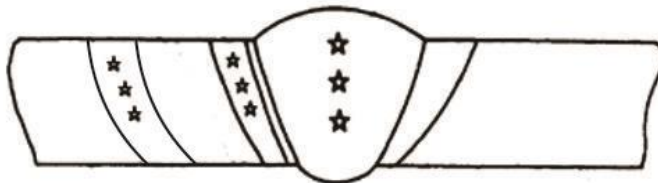
Berikut merupakan prosedur pengujian kekerasan:

- Mempersiapkan spesimen sesuai dengan standar pengujian.
- Mempersiapkan peralatan uji kekerasan yang akan dilakukan 3 titik pengujian pada *base metal*, 3 titik pengujian pada *fusion line*, dan 3 titik pengujian pada *weld metal* seperti pada gambar 3.8.
- Meletakkan material uji pada meja kerja.
- Mengatur skala yang tampak oleh lensa menjadi nol dengan memutar pengatur di kiri dan kanan lensa
- Pembaca dimensi harus dinolkan dengan cara menekan tombol “Zero” pada alat uji
- Menekan *indenter* pada lokasi yang diinginkan dengan beban yang telah ditentukan sesuai



- standar. Penentuan lokasi bisa dengan menggeser pengatur disebelah meja kerja
- g. Menekan tombol “Start” untuk memulai pengujian dan tunggu selama 10 detik
  - h. Melakukan pengukuran diagonal dengan mengatur pengatur diagonal di kiri dan kanan lensa.
  - i. Menekan tombol di pengatur diagonal setelah selesai mengatur diagonal pada hasil uji dan secara otomatis akan muncul hasil kekerasannya.
  - j. Melakukan pengujian pada posisi *top*, *center*, dan *bottom*.
  - k. Mencatat hasil pengukuran di setiap titik pengujian.

Untuk ilustrasi pengujian kekerasan dapat melihat pada gambar di bawah ini:



**Gambar 3.17** Titik uji kekerasan pada daerah pengelasan

### 3.6 Rancangan Penelitian

Adapun rancangan penelitian adalah seperti tertera pada Tabel 3.2 berikut



**Tabel 3.2** Rancangan Penelitian

Material	Parameter		Pengujian			
	Arus (A)	<i>Travel Speed</i> (Cm/min)	Makro	Metalografi	XRD	Kekerasan
Cu-Ni 90/10	100	7.5	v	v	v	v
	110	7.5	v	v	v	v
	120	7.5	v	v	v	v
	100	10	v	v	v	v
	110	10	v	v	v	v
	120	10	v	v	v	v
	100	12.5	v	v	v	v
	110	12.5	v	v	v	v
	120	12.5	v	v	v	v

### 3.7. Jadwal Penelitian

Penelitian ini berlangsung selama kurang lebih 4 (empat) bulan dengan rincian kegiatan setiap tahap seperti tertera pada tabel 3.3 berikut:



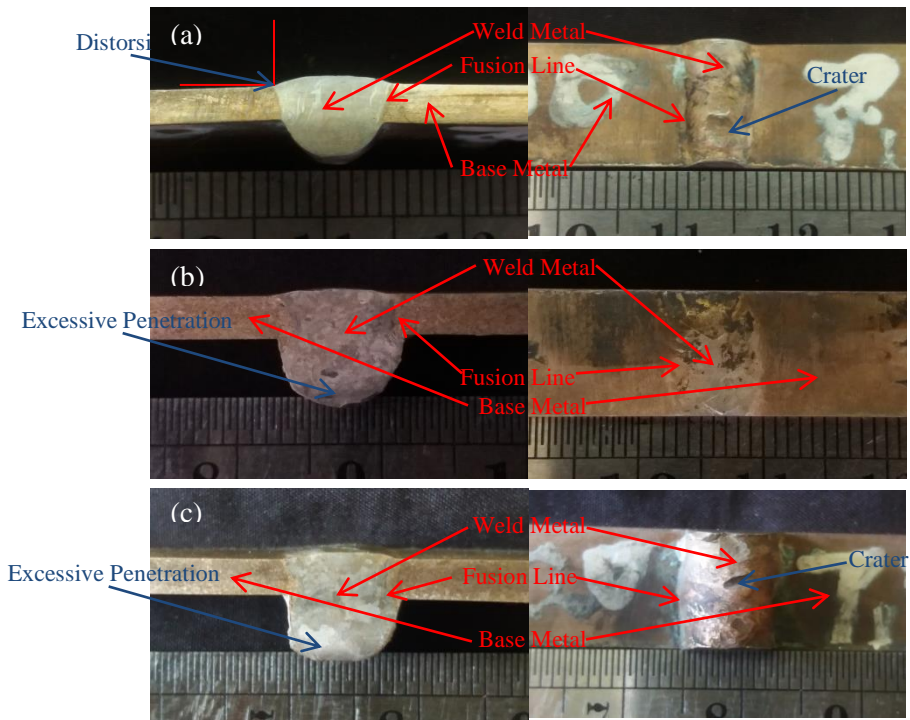
**Tabel 3.3 Jadwal Penelitian**

Kegiatan \ Waktu	Februari				Maret				April				Mei			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Konsultasi Kepada Pembimbing																
Penyusunan Laporan																
Preparasi Spesimen																
Proses Pengelasan TIG																
Pengujian Makro																
Pengujian Metalografi																
Pengujian Kekerasan																
Pengujian XRD																

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengamatan Makro

Berdasarkan hasil pengamatan makro, didapatkan perbedaan daerah las pada setiap spesimen. Hasil pengamatan makro didokumentasikan dalam bentuk foto pada Gambar 4. 1-4.3.



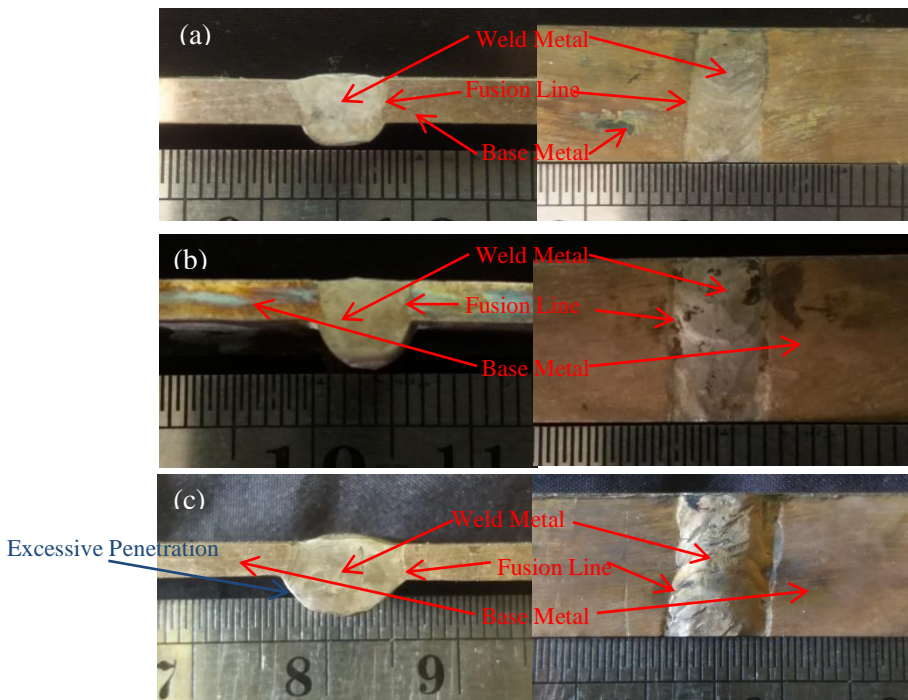
**Gambar 4.1** Hasil Foto Makro Hasil Pengelasan CuNi90/10

(a)A100-TS7.5 (b)A110-TS7.5 (c)A120-TS7.5

Gambar 4.1 menunjukkan pengamatan makro hasil pengelasan TIG pada CuNi 90/10 dengan elektroda ERCuNi. Gambar 4.1(a) merupakan hasil pengelasan CuNi 90/10 dengan variasi arus 100 A dengan *travel speed* 7.5cm/min. Pada variasi



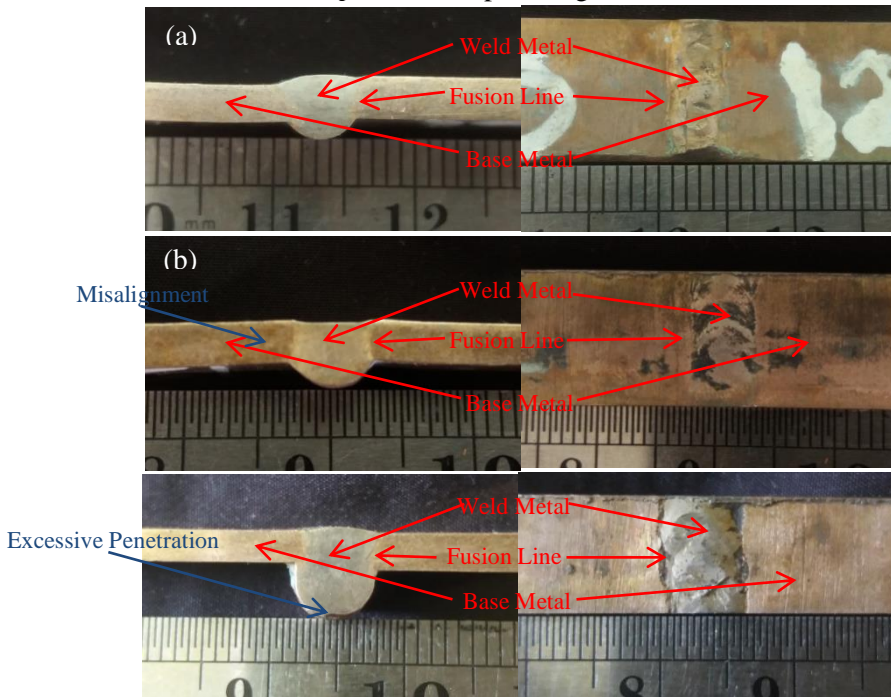
ini spesimen memiliki beberapa cacat yaitu sedikit distorsi pada *base metal* dan terdapat sedikit *crater* pada *weld metal*-nya. Gambar 4.1(b) merupakan pengelasan CuNi 90/10 dengan variasi arus 110 A dengan *travel speed* 7.5cm/min. Pada variasi ini spesimen mengalami cacat berupa *excessive penetration*. Gambar 4.1(c) merupakan pengelasan CuNi 90/10 dengan variasi arus 120 A dengan *travel speed* 7.5cm/min. Sedangkan pada spesimen ini mengalami cacat berupa adanya *crater* dan mengalami *excessive penetration* pada bagian *weld metal*.



**Gambar 4.2** Hasil Foto Makro Hasil Pengelasan CuNi90/10  
a)A100-TS10 b)A110-TS10 c)A120-TS10

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Gambar 4.2 menunjukkan pengamatan makro hasil pengelasan TIG pada CuNi 90/10 dengan elektroda ERCuNi dengan berbagai variasi arus dan *travel speed* tetap. Gambar 4.2(a) merupakan pengelasan CuNi 90/10 dengan variasi arus 100 A dengan *travel speed* 10cm/min. Pada variasi ini tidak ditemukan cacat pada spesimen uji. Gambar 4.2(b) merupakan pengelasan CuNi 90/10 dengan variasi arus 110 A dengan *travel speed* 10cm/min. Pada variasi ini juga tidak ditemukan cacat pada spesimen uji. Gambar 4.2(c) merupakan pengelasan CuNi 90/10 dengan variasi arus 120 A dengan *travel speed* 10cm/min. Sedangkan pada spesimen ini mengalami cacat berupa adanya sedikit *excessive penetration* pada bagian *weld metal*.



**Gambar 4.3** Hasil Foto Makro Hasil Pengelasan CuNi90/10  
a)A100-TS12.5 b)A110-TS12.5 c)A120-TS12.5

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.3 menunjukkan pengamatan makro hasil pengelasan TIG pada CuNi 90/10 dengan elektroda ERCuNi. Gambar 4.3(a) merupakan pengelasan CuNi 90/10 dengan variasi arus 100 A dengan *travel speed* 12.5cm/min. Pada variasi ini spesimen memiliki cacat yaitu terjadinya *lack of penetration* di beberapa bagian *weld metal*-nya. Gambar 4.3(b) merupakan pengelasan CuNi 90/10 dengan variasi arus 110 A dengan *travel speed* 12.5cm/min. Pada variasi ini spesimen mengalami cacat berupa *misalignment* pada bagian *base metal* dan sedikit mengalami *underfill* di bagian *weld metal*. Gambar 4.3(c) merupakan pengelasan CuNi 90/10 dengan variasi arus 120 A dengan *travel speed* 12.5cm/min. Sedangkan pada spesimen ini mengalami cacat berupa *excessive penetration*.

Hasil pengamatan makro diatas dilakukan setelah dilakukan proses etsa pada masing-masing specimen menggunakan etsa nomor 40 berdasarkan ASTM E-407. Berdasarkan hasil pengamatan makro, dapat terlihat daerah *weld metal*, *fusion line* dan daerah *base metal*. Selain itu terdapat beberapa cacat yang dialami oleh masing-masing spesimen seperti yang telah dijelaskan diatas.

Pada hasil pengamatan makro yang ditampilkan pada Gambar 4.1 – Gambar 4.3, dapat dilihat perbedaan pada daerah *weld metal* dan *base metal* secara visual. Daerah HAZ tidak terbentuk pada pengelasan ini sehingga secara visual tidak terlihat dan hanya terlihat bagian *fusion line*. Terdapat berbagai cacat las yang terjadi pada hasil lasan. Yang pertama adalah distorsi pada gambar 4.1(a) Hasil Pengelasan Cu-Ni 90/10 A100-TS7.5 pada bagian *base metal*. Hal ini disebabkan karena adanya preparasi yang kurang sempurna. Selanjutnya adalah *crater* pada gambar 4.1(a) Hasil Pengelasan Cu-Ni 90/10 A100-TS7.5 dan gambar 4.1(c) Hasil Pengelasan Cu-Ni 90/10 A120-TS7.5 yang disebabkan karena pembekuan bagian tengah dari *weld pool* sebelum bagian luarnya sehingga menarik bagian tengah *weld pool* saat pembekuan. Selanjutnya terjadi *excessive penetration* pada gambar 4.1(b) Hasil Pengelasan Cu-Ni 90/10 A110-TS7.5,

---

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN





gambar 4.1(c) Hasil Pengelasan Cu-Ni 90/10 A120-TS7.5, gambar 4.2(c) Hasil Pengelasan Cu-Ni 90/10 A120-TS10 dan gambar 4.3(c) Hasil Pengelasan Cu-Ni 90/10 A120-TS12.5. Hal ini disebabkan karena arus yang terlalu tinggi dan rendahnya kecepatan pengelasan pada arus tersebut. Selanjutnya terjadi *lack of penetration* yang terjadi pada gambar 4.3(a) Hasil Pengelasan Cu-Ni 90/10 A100-TS12.5, hal ini disebabkan karena *travel speed* yang terlalu tinggi sehingga *heat input* menjadi rendah. (Rogers, 2003). Selanjutnya terjadi *misalignment* pada gambar 4.3(b) Hasil Pengelasan Cu-Ni 90/10 A110-TS12.5, Hal ini disebabkan karena preparasi yang kurang baik pada material las. Dan yang terakhir terjadi *underfill* yang disebabkan karena *travel speed* yang tinggi sehingga lelehan *filler metal* belum terisi penuh pada daerah las. (Musaikan, 1997).

Selain dengan pengamatan makro juga dilakukan pengukuran lebar dan tinggi *weld metal* sehingga didapatkan ukuran secara kuantitatif untuk melihat hasil pengelasan yang terbaik. Pengukuran lebar dan tinggi pengelasan menggunakan micrometer sekrup Sedangkan untuk menghitung luasan menggunakan aplikasi ImageJ. Hasil pengukuran lebar dan tinggi serta luasan dari *weld metal* dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Pengukuran Pada *Weld Metal* CuNi90/10

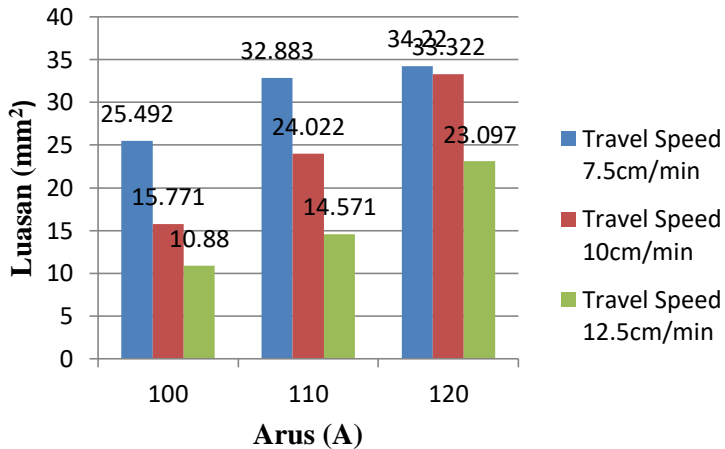
No	Variasi	Lebar(mm)	Tinggi(mm)	Luas(mm <sup>2</sup> )
1	A100-TS7.5	8	5.7	25.492
2	A110-TS7.5	8.5	7.8	32.883
3	A120-TS7.5	8.3	8.8	34.220
4	A100-TS10	4.8	4.5	15.771
5	A110-TS10	5.3	5.6	24.022
6	A120-TS10	7.7	5.4	33.322
7	A100-TS12.5	4.4	4.3	10.88
8	A110-TS12.5	5.5	4.7	14.571
9	A120-TS12.5	6	7	23.097

---

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Dari hasil pengukuran diatas didapatkan grafik luasan pada daerah *weld metal* seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.4** Pengaruh Arus dan *Travel Speed* Terhadap Luasan *Weld Metal*

Gambar 4.4 merupakan grafik pengaruh arus dan *travel speed* terhadap luasan *weld metal* yang dihitung dengan menggunakan aplikasi ImageJ. Hal ini dikarenakan ukuran luasan yang tidak simetris. Dari hasil tersebut dapat terlihat bahwa semakin tinggi arus yang diberikan pada setiap spesimen maka semakin luas daerah *weld metal*. Sedangkan untuk pengaruh *travel speed* merupakan kebalikannya dimana semakin tinggi *travel speed* yang diberikan maka akan semakin sempit luasan daerah *weld metal*. Hal ini berhubungan dengan masukan panas yang diberikan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Karunakaran pada tahun 2011, dimana pada penelitiannya lebar dan tinggi *weld metal* berbanding lurus dengan tingginya arus yang diberikan.



#### 4.2 Komposisi Kimia CuNi 90/10 dan Filler Metal

Komposisi *base metal* CuNi 90/10 telah diuji dengan menggunakan *spectrometer gun*. Hasil pengujian komposisi pada *base metal* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Komposisi *Base Metal* CuNi

	<i>Base Metal</i>	Cu	Ni	Zn	Mn	Fe	Co	Zr	Pb
Hasil Pengujian	CuNi 90/10	86.32	10.11	1.68	0.58	1.11	0.07	0.08	0.01
AWS	CuNi 90/10	>86.5	9-11	0.5	1	-	-	-	0.02

Tabel 4.2 diatas merupakan hasil pengujian komposisi *base metal* CuNi 90/10 yang dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan oleh *American Welding Society*. Berdasarkan hasil uji komposisi diatas, material CuNi 90/10 yang digunakan sebagai *base metal* telah sesuai dengan komposisi pada standar *American Welding Society*. Unsur-unsur hasil pengujian seluruhnya berada pada rentang yang sesuai dengan yang ada pada standar meskipun terdapat beberapa unsur yang tidak ada rentangnya pada standar. Adanya unsur seperti Fe, Co maupun Zr akibat dari proses manufaktur dari penyedia. Untuk *filler metal* yang nantinya sebagai *weld metal* komposisinya dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah.

**Tabel 4.3** Komposisi *Filler Metal* CuNi

	<i>Filler Metal</i>	Cu	Ni	Ti	Mn	Fe	Si	Zn	P
Produk	ERCu Ni	Bal	29	0.5	1-2.5	0.4-0.8	0.5	-	0.2
AWS	ERCu Ni	>65	29-33	-	1	0.4-1	-	0.5	0.02

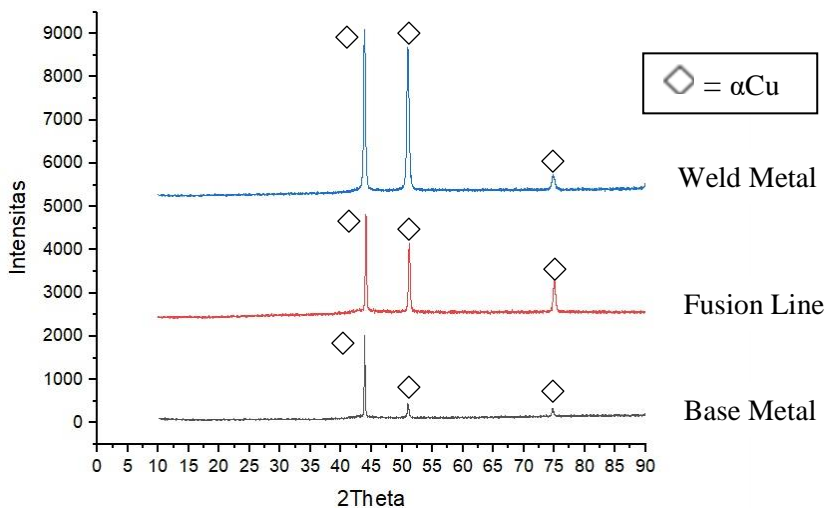
## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Tabel 4.3 diatas merupakan hasil perbandingan antara *filler metal* dari produk komersil dengan standar di *American Welding Society*. Hampir keseluruhan unsur-unsur sesuai meskipun ada beberapa unsur yang tidak ada di AWS akibat dari proses manufaktur penyedia.

#### 4.3 Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa atau senyawa yang terbentuk selama proses pengelasan terjadi. Pengujian ini dilakukan pada daerah *weld metal*. Hasil pengujian XRD ditunjukkan pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Pola XRD pada Masing-masing Daerah Pengelasan

Gambar 4.5 menunjukkan hasil XRD yang pada setiap bagian hasil las berupa *weld metal*, *fusion line* dan *base metal* ketika pengelasan dilakukan dengan metode TIG dengan variasi arus 110A dan travel speed 10 cm/menit. Pada hasil uji XRD terindikasi fasa  $\alpha\text{Cu}$  pada puncak 2theta memperlihatkan bahwa

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



fasa  $\alpha$ Cu terbentuk disetiap spesimen pada setiap daerah. Pada daerah *weld metal*, *peak* yang muncul pada posisi 2theta 43.74, 50.89 dan 74.79 dengan bidang (1,1,1), (2,0,0) dan (2,0,2) yang sesuai dengan nomor pdf #96-410-5041. Pada daerah *fusion line*, *peak* yang muncul pada posisi 2theta 44.0, 51.19 dan 74.93 dengan bidang (1,1,1), (2,0,0) dan (2,0,2) yang sesuai dengan nomor pdf #96-410-5041. Sedangkan pada *base metal* *peak* yang muncul pada posisi 2theta 43.98, 170.5 dan 57.5 dengan bidang (1,1,1), (2,0,0) dan (2,0,2) yang sesuai dengan nomor pdf #96-410-5041. Dari hasil pengujian XRD yang paling sesuai dengan *peak* Cu adalah pada *weld metal* kemudian pada *fusion line* dan yang terakhir pada *base metal*. Hal ini ditunjukkan oleh intensitas yang ada pada *weld metal* yakni sebesar 942.1, 1000.0 dan 139.0. Sedangkan pada *fusion line* dan *base metal* intensitasnya secara berurutan adalah 1222.7, 530.6 dan 221.3 serta 1000.0, 170.5 dan 69.1. Perbedaan intensitas ini menunjukkan perbedaan sebaran fasa  $\alpha$ Cu pada daerah lasan.

*Peak* yang muncul menunjukkan *peak* Cu. *Peak* Ni tidak muncul pada hasil pengujian XRD. Hal ini disebabkan karena unsur Ni larut sempurna ke dalam unsur Cu. Struktur kristal atom Ni memiliki kesamaan dengan atom Cu yaitu *Face Centered Cubic*, memiliki ukuran atom yang relative sama, afinitas dan Elektronegativitas yang tidak terlalu jauh. Jika dipadukan, atom Ni menggantikan atom Cu pada struktur kristal sehingga membentuk larutan padat substitusional. Larutan padat substitusi yang terbentuk tersebut adalah fasa  $\alpha$ . Di dalam fasa  $\alpha$  tersebut, unsur Ni merupakan unsur yang terlarut di dalam unsur pelarut Cu. Oleh karena itu, fasa yang muncul di hasil pengujian XRD ini adalah fasa  $\alpha$  Cu karena unsur Cu memiliki komposisi yang lebih banyak sebagai pelarut (Callister, 2007)

#### 4.4 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

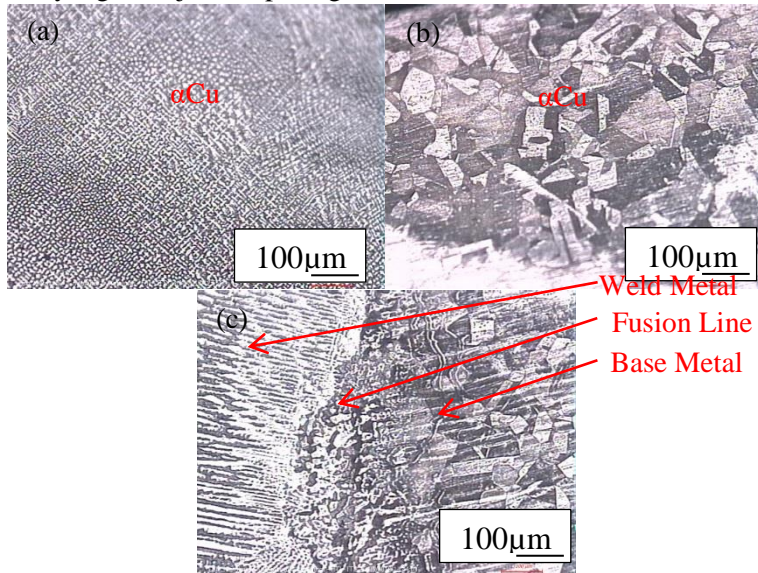
Pengamatan struktur mikro dilakukan setelah melakukan proses etsa pada masing-masing specimen dengan menggunakan

---

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



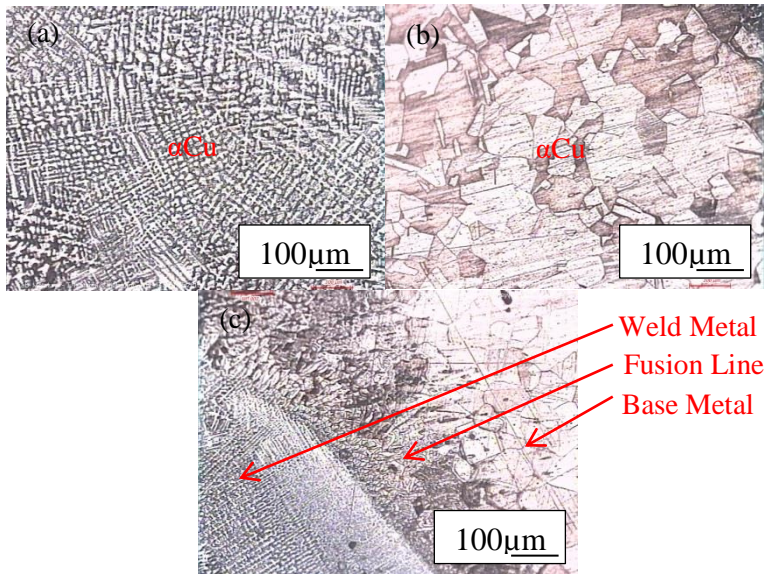
etsa nomor 40 pada ASTM E-407 dengan menggunakan mikroskop optik pada daerah *weld metal*, *fusion line* dan *base metal* yang ditunjukkan pada gambar 4.6-4.14.



**Gambar 4.6** Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 100A-TS7.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL

Gambar 4.6 merupakan hasil foto struktur mikro CuNi 90/10 dengan variasi arus sebesar 100 A dan *travel speed* 7.5cm/min serta diambil dengan mikroskop optik dengan perbesaran 10x. Gambar 4.6 (a) merupakan gambar daerah *weld metal*, 4.6 (b) merupakan gambar daerah *base metal* sedangkan 4.6 (c) merupakan gambar daerah *fusion line*. Pada daerah *fusion line* dapat dilihat disebelah kanannya merupakan daerah *base metal* dan disebelah kiri dari daerah *fusion line* adalah daerah *weld metal*. Fasa yang terbentuk pada ketiga daerah tersebut merupakan  $\alpha\text{Cu}$ . Namun terdapat perbedaan bentuk dan ukuran butir dari fasa  $\alpha\text{CuNi}$  dikarenakan perbedaan pendinginan.

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

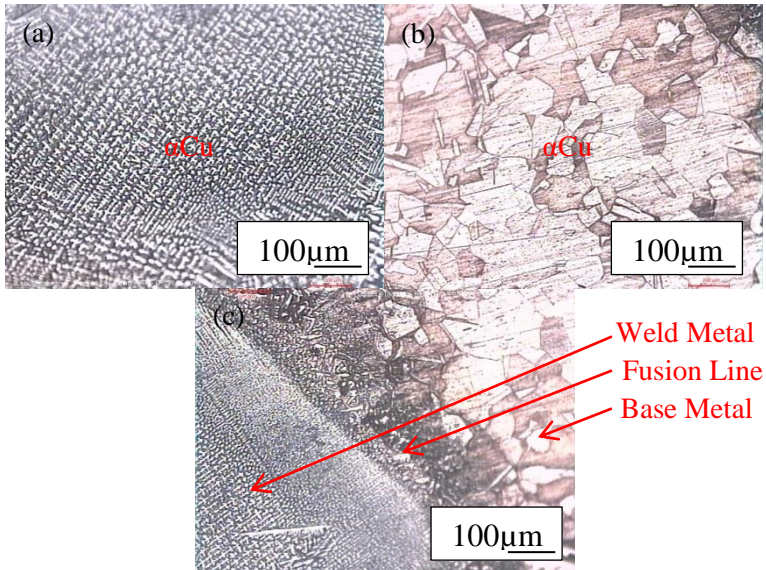


**Gambar 4.7** Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 110A-TS7.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL

Gambar 4.7 merupakan gambar hasil struktur mikro CuNi 90/10 dengan variasi arus 110 A dan *travel speed* 7.5 cm/min serta diambil dengan mikroskop optik dengan perbesaran 10x. Untuk gambar 4.7 (a) merupakan gambar daerah *weld metal*, untuk gambar 4.7 (b) merupakan gambar daerah *base metal* sedangkan untuk gambar 4.7 (c) merupakan gambar daerah *fusion line*. Pada daerah *fusion line* terlihat pembagian daerah yang cukup jelas dimana pada bagian kanan *fusion line* merupakan daerah *base metal* sedangkan daerah sebelah kiri dari *fusion line* merupakan daerah *weld metal*. Fasa yang terbentuk pada ketiga daerah tersebut adalah  $\alpha\text{CuNi}$ . Namun terdapat perbedaan bentuk dan ukuran butir dari fasa  $\alpha\text{CuNi}$  dikarenakan perbedaan pendinginan.

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

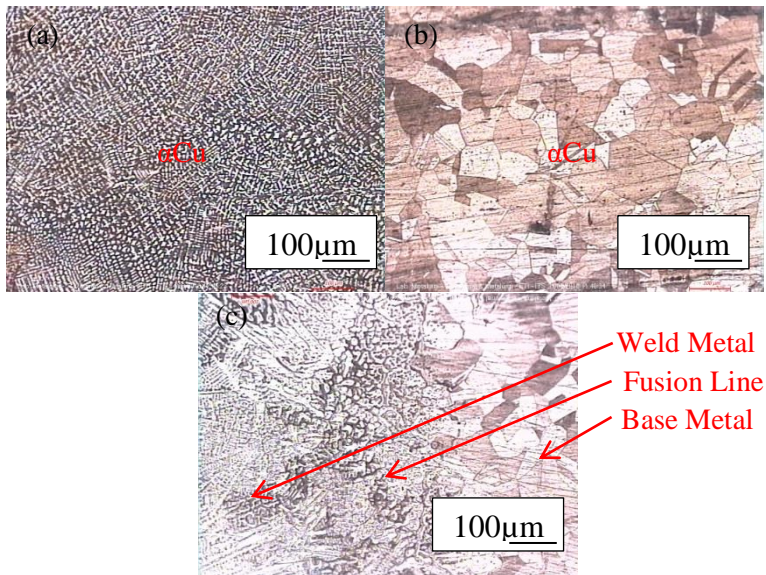




**Gambar 4.8** Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 120A-TS7.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL

Gambar 4.8 diatas merupakan gambar hasil struktur mikro CuNi 90/10 dengan variasi arus 120 A dan *travel speed* 7.5 cm/min serta diambil dengan mikroskop optik dengan perbesaran 10x. Untuk Gambar 4.8 (a) merupakan gambar daerah *weld metal*, untuk Gambar 4.8 (b) merupakan gambar daerah *base metal* sedangkan untuk Gambar 4.8 (c) merupakan gambar daerah *fusion line*. Pada daerah *fusion line* terlihat pembagian daerah yang cukup jelas dimana pada bagian kanan *fusion line* merupakan daerah *base metal* sedangkan daerah sebelah kiri daei *fusion line* merupakan daerah *weld metal*. Fasa yang terbentuk pada ketiga daerah tersebut adalah  $\alpha\text{Cu}$ . Namun terdapat perbedaan bentuk dan ukuran butir dari fasa  $\alpha\text{Cu}$  dikarenakan perbedaan pendinginan.

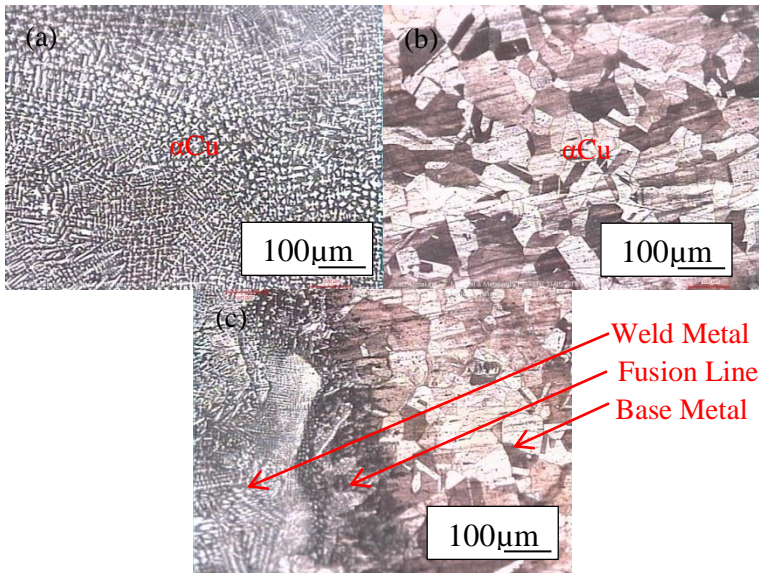




**Gambar 4.9** Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 100A-TS10Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL

Gambar 4.9 diatas merupakan gambar hasil struktur mikro CuNi 90/10 dengan variasi arus 100 A dan *travel speed* 10 cm/min serta diambil dengan mikroskop optik dengan perbesaran 10x. Untuk Gambar 4.9 (a) merupakan gambar daerah *weld metal*, untuk Gambar 4.9 (b) merupakan gambar daerah *base metal* sedangkan untuk Gambar 4.9 (c) merupakan gambar daerah *fusion line*. Pada daerah *fusion line* terlihat pembagian daerah yang cukup jelas dimana pada bagian kanan *fusion line* merupakan daerah *base metal* sedangkan daerah sebelah kiri daei *fusion line* merupakan daerah *weld metal*. Fasa yang terbentuk pada ketiga daerah tersebut adalah  $\alpha\text{Cu}$ . Namun terdapat perbedaan bentuk dan ukuran butir dari fasa  $\alpha\text{Cu}$  dikarenakan perbedaan pendinginan.

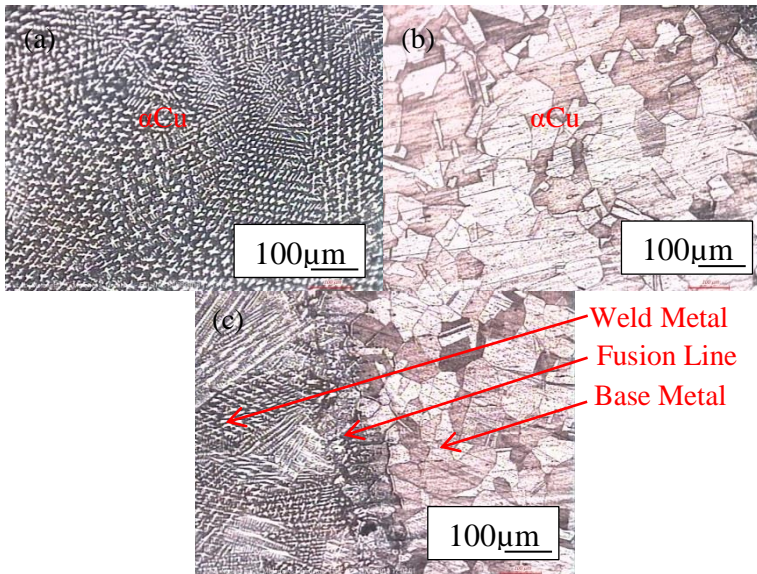
## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



**Gambar 4.10** Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 110A-TS10Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL

Gambar 4.10 diatas merupakan gambar hasil struktur mikro CuNi 90/10 dengan variasi arus 110 A dan *travel speed* 10 cm/min serta diambil dengan mikroskop optik dengan perbesaran 10x. Untuk Gambar 4.10 (a) merupakan gambar daerah *weld metal*, untuk Gambar 4.10 (b) merupakan gambar daerah *base metal* sedangkan untuk Gambar 4.10 (c) merupakan gambar daerah *fusion line*. Pada daerah *fusion line* terlihat pembagian daerah yang cukup jelas dimana pada bagian kanan *fusion line* merupakan daerah *base metal* sedangkan daerah sebelah kiri daei *fusion line* merupakan daerah *weld metal*. Fasa yang terbentuk pada ketiga daerah tersebut adalah  $\alpha\text{Cu}$ . Namun terdapat perbedaan bentuk dan ukuran butir dari fasa  $\alpha\text{Cu}$  dikarenakan perbedaan pendinginan.

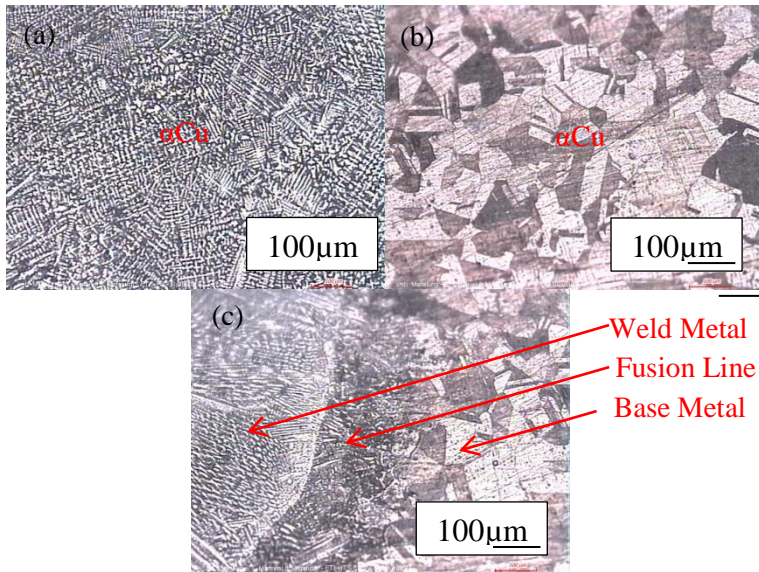
## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



**Gambar 4.11** Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 120A-TS10Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL

Untuk gambar 4.11 diatas merupakan gambar hasil struktur mikro CuNi 90/10 dengan variasi arus 120 A dan *travel speed* 10 cm/min serta diambil dengan mikroskop optik dengan perbesaran 10x. Gambar 4.11 (a) merupakan gambar daerah *weld metal*, untuk Gambar 4.11 (b) merupakan gambar daerah *base metal* sedangkan untuk Gambar 4.11 (c) merupakan gambar daerah *fusion line*. Pada daerah *fusion line* terlihat pembagian daerah yang cukup jelas dimana pada bagian kanan *fusion line* merupakan daerah *base metal* sedangkan daerah sebelah kiri daei *fusion line* merupakan daerah *weld metal*. Fasa yang terbentuk pada ketiga daerah tersebut adalah  $\alpha\text{Cu}$ . Namun terdapat perbedaan bentuk dan ukuran butir dari fasa  $\alpha\text{Cu}$  dikarenakan perbedaan pendinginan.

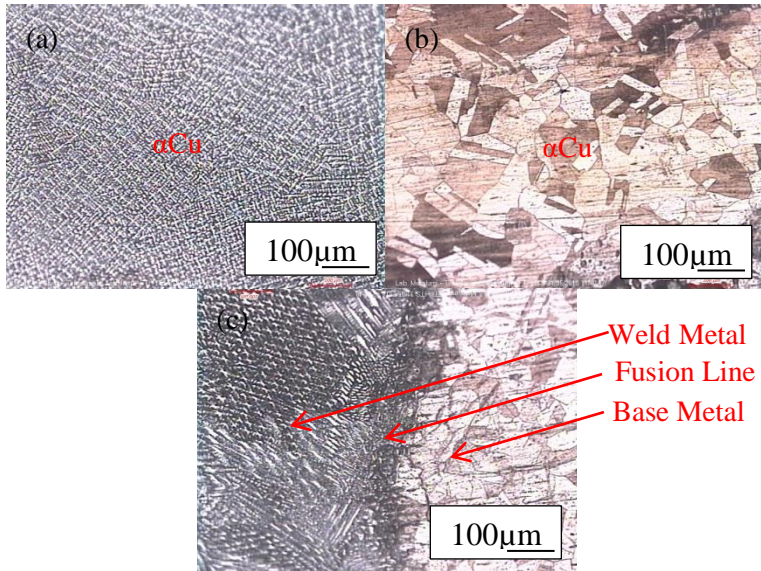
## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



**Gambar 4.12** Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 100A-TS12.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL

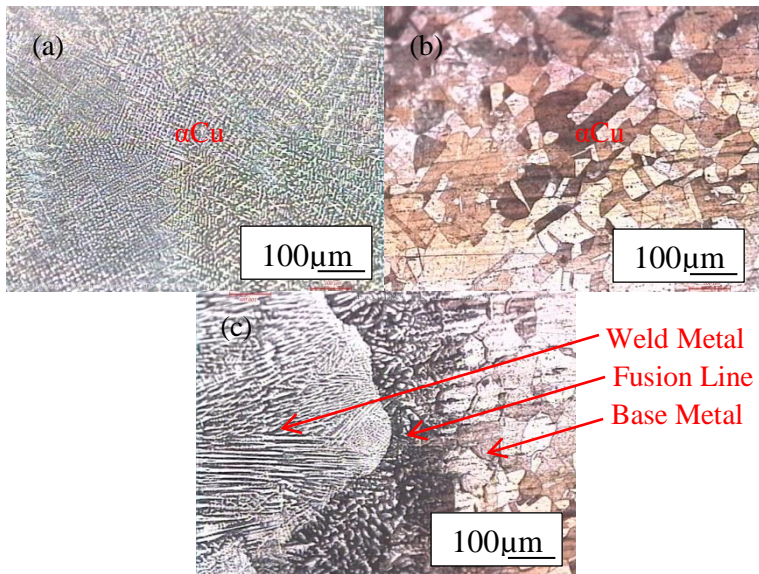
Gambar 4.12 diatas merupakan gambar hasil struktur mikro CuNi 90/10 dengan variasi arus 100 A dan *travel speed* 12.5 cm/min serta diambil dengan mikroskop optik dengan perbesaran 10x. Gambar 4.12 (a) merupakan gambar daerah *weld metal*, untuk Gambar 4.12 (b) merupakan gambar daerah *base metal* sedangkan untuk Gambar 4.12 (c) merupakan gambar daerah *fusion line*. Pada daerah *fusion line* terlihat pembagian daerah yang cukup jelas dimana pada bagian kanan *fusion line* merupakan daerah *base metal* sedangkan daerah sebelah kiri daei *fusion line* merupakan daerah *weld metal*. Fasa yang terbentuk pada ketiga daerah tersebut adalah  $\alpha\text{Cu}$ . Namun terdapat perbedaan bentuk dan ukuran butir dari fasa  $\alpha\text{Cu}$  dikarenakan perbedaan pendinginan.





**Gambar 4.13** Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 110A-TS12.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL

Gambar 4.13 diatas merupakan gambar hasil struktur mikro CuNi 90/10 dengan variasi arus 110 A dan *travel speed* 12.5 cm/min serta diambil dengan mikroskop optik dengan perbesaran 10x. Gambar 4.13 (a) merupakan gambar daerah *weld metal*, untuk Gambar 4.13 (b) merupakan gambar daerah *base metal* sedangkan untuk Gambar 4.13 (c) merupakan gambar daerah *fusion line*. Pada daerah *fusion line* terlihat pembagian daerah yang cukup jelas dimana pada bagian kanan *fusion line* merupakan daerah *base metal* sedangkan daerah sebelah kiri daei *fusion line* merupakan daerah *weld metal*. Fasa yang terbentuk pada ketiga daerah tersebut adalah  $\alpha\text{Cu}$ . Namun terdapat perbedaan bentuk dan ukuran butir dari fasa  $\alpha\text{Cu}$  dikarenakan perbedaan pendinginan.



**Gambar 4.14** Hasil Foto Struktur Mikro CuNi 90/10 120A-TS12.5Cm/min-10x (a)WM (b)BM (c)FL

Gambar 4.14 diatas merupakan gambar hasil struktur mikro CuNi 90/10 dengan variasi arus 120 A dan *travel speed* 12.5 cm/min serta diambil dengan mikroskop optik dengan perbesaran 10x. Gambar 4.14 (a) merupakan gambar daerah *weld metal*, untuk Gambar 4.14 (b) merupakan gambar daerah *base metal* sedangkan untuk Gambar 4.14 (c) merupakan gambar daerah *fusion line*. Pada daerah *fusion line* terlihat pembagian daerah yang cukup jelas dimana pada bagian kanan *fusion line* merupakan daerah *base metal* sedangkan daerah sebelah kiri daei *fusion line* merupakan daerah *weld metal*. Fasa yang terbentuk pada ketiga daerah tersebut adalah  $\alpha\text{CuNi}$ . Namun terdapat perbedaan bentuk dan ukuran butir dari fasa  $\alpha\text{CuNi}$  dikarenakan perbedaan pendinginan.

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.6-4.14 (a) menunjukkan hasil struktur mikro CuNi 90/10 bagian *weld metal* pada keseluruhan variasi. Fasa yang terbentuk di keseluruhan *weld metal* merupakan  $\alpha\text{Cu}$ . Hal ini sesuai dengan hasil pengujian XRD. Pada daerah *weld metal* menghasilkan struktur *full dendritic* dengan inti dendrit kaya akan Ni sehingga secara visual berwarna terang sedangkan daerah *interdendritic* kaya akan Cu sehingga secara visual berwarna gelap. Hal ini disebabkan karena unsur Ni yang memiliki titik *solidus* yang lebih tinggi sehingga membeku terlebih dahulu dan mengintinya terlebih dahulu. Setelah itu baru unsur Cu akan membeku dan membentuk struktur disekitar Ni. Dari struktur mikro yang terbentuk pada *weld metal* ini sesuai dengan struktur mikro pada *weld metal* pada penelitian yang telah dilakukan oleh Devletian dan Sullivan pada tahun 2006 serta sesuai dengan struktur mikro pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Chakravarthy pada tahun 2018. Struktur dendritik terbentuk karena pada *weld metal* mengalami pendinginan yang cepat akibat koefisien thermal yang tinggi sehingga pembekuan terjadi dengan cepat dan membentuk dendrit.

Gambar 4.6-4.14 (b) menunjukkan struktur mikro CuNi 90/10 bagian *base metal* pada keseluruhan variasi. Fasa yang terbentuk di keseluruhan *base metal* juga merupakan  $\alpha\text{CuNi}$ . Hal ini juga sesuai dengan hasil pengujian XRD. Pada daerah *base metal* mengalami pembekuan yang equilibrium sehingga menghasilkan butir berupa *polycrystalline  $\alpha$ -phase solid solution*. (Calister, 2013). Struktur mikro yang terbentuk pada daerah *base metal* ini juga sesuai dengan struktur mikro yang terbentuk pada daerah *base metal* dari yang telah dilakukan oleh Devletian dan Sullivan pada tahun 2006. Bagian terang dan bagian gelap pada *base metal* terjadi akibat adanya perbedaan orientasi atom. Struktur polikristalin terbentuk akibat dari homogenisasi yang dilakukan pada material CuNi 90/10. (Devletian dan Sullivan, 2006)

Gambar 4.6-4.14 (c) menunjukkan struktur mikro CuNi 90/10 bagian *fusion line*. Daerah *fusion line* merupakan daerah

---

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



yang ditunjukkan oleh tanda panah, sedangkan bagian kirinya merupakan daerah *weld metal* dan bagian kanan merupakan daerah *base metal*. Daerah *fusion line* berwarna gelap akibat dari pertemuan pembekuan antara daerah *weld metal* dan *base metal*. Daerah *fusion line* pada hasil pengelasan ini juga sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Devletian dan Sulivan pada tahun 2006. Pada pengelasan CuNi 90/10 ini tidak ditemukan adanya HAZ. HAZ merupakan daerah yang terpengaruh panas sehingga pada daerah tersebut mengalami perubahan struktur mikro sehingga juga mempengaruhi sifat mekanik. Tidak ditemukannya daerah HAZ ini disebabkan karena CuNi 90/10 tidak banyak mengalami perubahan fasa saat pendinginan setelah proses pengelasan. Hal ini bisa terlihat pada diagram fasa CuNi 90/10 yang mana fasa yang ada pada diagram tersebut hanya ada fasa cair dan padat berupa  $\alpha\text{CuNi}$ . (Shleich, 2006). Selain itu dari hasil kekerasan juga menunjukkan tidak adanya perubahan kekerasan yang signifikan akibat adanya panas dari proses las.

Dari hasil pengamatan struktur mikro telah dilakukan perhitungan butir untuk melihat seberapa banyak butir yang terdapat dalam luasan tertentu. Perhitungan ini menggunakan metode Jeffries yang sesuai dengan ASTM 112. Tujuan dari perhitungan butir ini adalah untuk memprediksi kekerasan dari spesimen. Untuk hasil perhitungan dengan metode jeffries dapat dilihat pada Tabel 4.4.

---

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

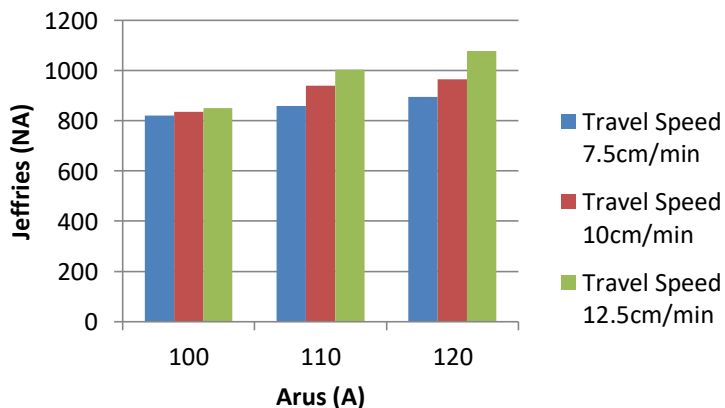




**Tabel 4.4** Hasil Perhitungan Jumlah Butir dengan Metode Jeffries

Material	Parameter		Jeffris Method ASTM 112			
	Arus	Travel Speed (cm/min)	f	N inside	N intercept	NA
Weld Metal CuNi 90/10	100	7.5	5.78	125	34	820.76
	110	7.5	5.78	131	35	858.33
	120	7.5	5.78	136	38	895.9
	100	10	5.78	124	41	835.21
	110	10	5.78	145	35	939.25
	120	10	5.78	150	34	965.26
	100	12.5	5.78	127	40	849.66
	110	12.5	5.78	153	41	1002.83
	120	12.5	5.78	163	47	1077.97

Berdasarkan hasil perhitungan Jeffries pada Tabel 4.4 diatas, didapatkan grafik perhitungan Jeffries pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4.15** Jumlah Butir per Luasan/Nilai Jeffries (NA)

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.15 merupakan grafik perhitungan nilai Jeffries dimana semakin bertambahnya arus dan *travel speed* maka nilai Jeffries semakin besar. Jika dibandingkan pada masing-masing *weld metal* di tiap spesimen dapat dilihat pada *weld metal* spesimen A120-TS12.5 menghasilkan butiran yang lebih halus dibandingkan dengan spesimen lainnya. Hal ini mengakibatkan sifat mekanik dari spesimen A120-TS12.5 yang diprediksi lebih baik daripada spesimen lain. Sedangkan pada spesimen A100-TS7.5 menghasilkan butiran yang lebih kasar daripada spesimen lain. Hal ini juga diprediksi bahwa spesimen A100-TS7.5 memiliki sifat mekanik yang lebih buruk daripada spesimen lainnya. (Chakravarthy, 2013)

#### 4.5 Hasil Pengujian Kekerasan

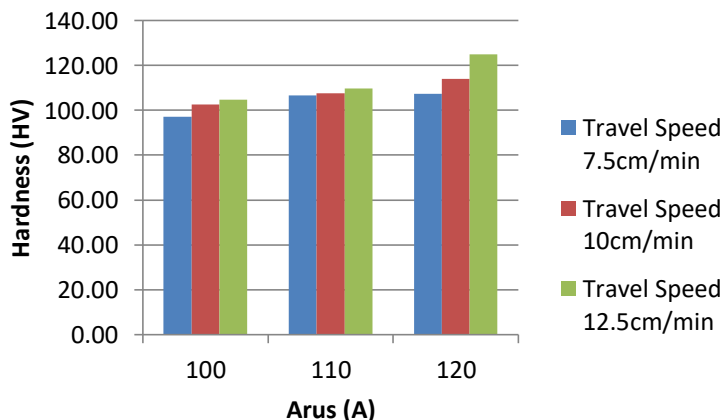
Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode Vickers menggunakan alat mikro Vickers. Hal ini dilakukan karena melihat luasan daerah pada specimen yang sempit sehingga jika dilakukan dengan mikrovickers mampu didapatkan data yang lebih akurat dengan mengambil daerah 0.1 mm dari *fusion line*. Pengambilan data dilakukan di 3 titik indentasi di daerah *weld metal*, *fusion line* dan *base metal*. Untuk mengetahui distribusi kekerasan di tiap daerah indentasi dapat dilihat pada Tabel 4.5.



**Tabel 4.5** Hasil Pengujian kekerasan Cu Ni 90/10 dengan *Filler Metal* 70/30

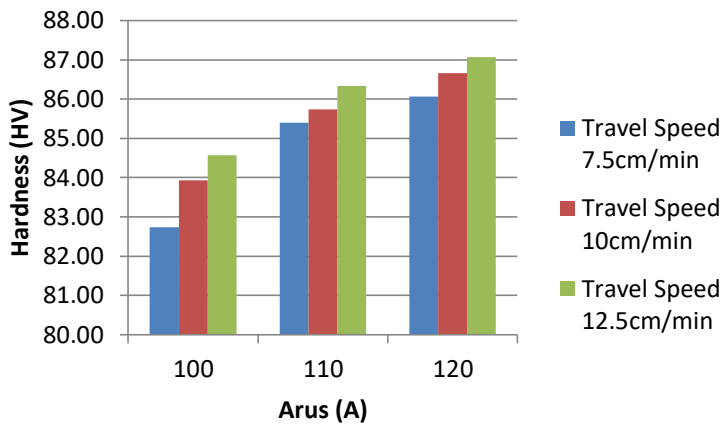
No	Parameter		Kekerasan Rata-rata (HV)		
	<i>Travel Speed</i>	Arus	<i>Weld Metal</i>	<i>Fusion Line</i>	<i>Base Metal</i>
1	7.5 cm/min	100	97.13	82.73	82.2
2		110	106.57	85.40	83
3		120	107.23	87.40	83.26667
4	10 cm/min	100	102.60	84.27	82.43333
5		110	107.60	85.93	83.33333
6		120	113.90	87.97	84.3
7	12.5 cm/min	100	104.77	86.63	82.56667
8		110	109.60	88.00	83.86667
9		120	124.93	89.70	84.53333

Berdasarkan hasil kekerasan diatas didapatkan grafik kekerasan pada *weld metal*, *fusion line* dan *base metal* seperti pada gambar 4.16 – 4.18

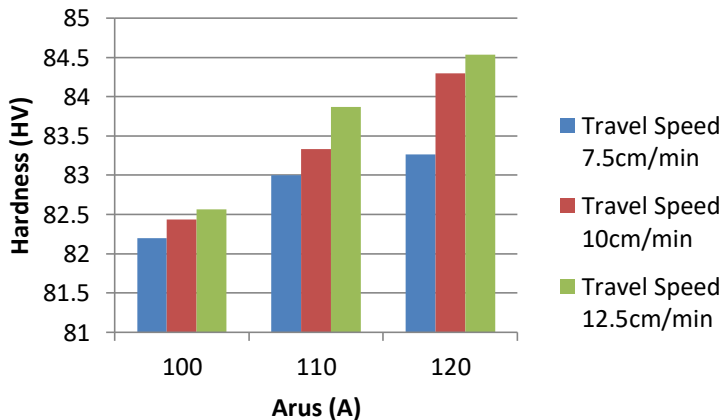


**Gambar 4.16** Kekerasan *Weld Metal* CuNi 90/10 Pengelasan TIG dengan Elektroda ERCuNi 70/30

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



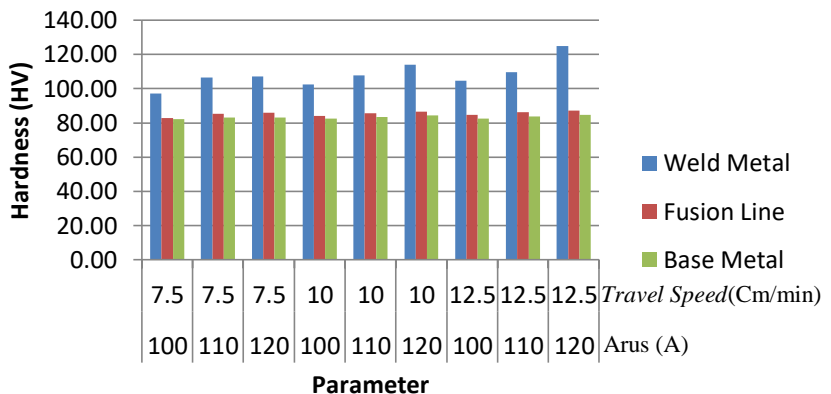
**Gambar 4.17** Kekerasan *Fusion Line* CuNi 90/10 Pengelasan TIG dengan Elektroda ERCuNi 70/30



**Gambar 4.18** Kekerasan *Base Metal* CuNi 90/10 Pengelasan TIG dengan Elektroda ERCuNi 70/30



Berikut adalah grafik kekerasan pada setiap daerah las pada pengelasan CuNi 90/10.



**Gambar 4.19** Perbandingan Kekerasan Seluruh Daerah Las CuNi 90/10

Gambar 4.16 merupakan grafik perbandingan kekerasan pada *weld metal* yang mana dapat dilihat kekerasan pada *weld metal* mengalami kenaikan kekerasan dengan semakin bertambahnya arus dan *travel speed*. Gambar 4.17 merupakan grafik perbandingan kekerasan *fusion line* dimana pada daerah *fusion line* juga memiliki tren yang naik ketika arus dan *travel speed* bertambah namun kenaikan kekerasan pada *fusion line* tidak signifikan. Gambar 4.18 merupakan grafik perbandingan kekerasan pada daerah *base metal* dimana kekerasan pada *base metal* mengalami kenaikan dengan bertambahnya arus dan *travel speed* yang tidak signifikan. Sedangkan Gambar 4.19 merupakan grafik perbandingan kekerasan secara keseluruhan. Terdapat perbedaan yang signifikan pada daerah *weld metal* dengan daerah *base metal* dan *fusion line*.

Berdasarkan hasil kekerasan, didapatkan grafik yang meningkat dari *base metal*, *fusion line* dan *weld metal*. Spesimen

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN



yang memiliki kekerasan paling tinggi di daerah *weld metal* adalah spesimen dengan variasi arus 120 dan *travel speed* 12.5cm/min. Sedangkan spesimen yang memiliki kekerasan paling rendah di daerah *weld metal* adalah spesimen dengan variasi arus 100 dan *travel speed* 7.5cm/min. Untuk daerah *fusion line* dan *base metal* memiliki kekerasan dengan selisih yang sangat kecil dari masing-masing spesimen atau bisa dikatakan hampir sama. Ini membuktikan bahwa tidak ada HAZ atau daerah terpengaruh panas pada pengelasan CuNi 90/10 ini. Pada daerah *base metal* kekerasan paling tinggi pada spesimen dengan variasi arus 120 dan *travel speed* 12.5cm/min. Sedangkan spesimen yang memiliki kekerasan paling kecil pada arus 100 *travel speed* 7.5cm/min. Untuk daerah *fusion line* kekerasan paling tinggi berada pada spesimen dengan arus 120 *travel speed* 12.5cm/min. Sedangkan untuk kekerasan paling rendah pada spesimen dengan arus 100 *travel speed* 7.5cm/min.

Hasil kekerasan juga sesuai dengan prediksi kekerasan berdasarkan perhitungan Jeffries. Berdasarkan Tabel 4.4 tentang perhitungan jumlah butir dengan metode Jeffries menunjukkan bahwa semakin bertambahnya arus dan *travel speed* maka semakin banyak jumlah butirnya, yang mana itu berarti semakin kecil ukuran butir dan semakin halus struktur mikronya. Spesimen yang memiliki struktur mikro paling halus memiliki kekerasan yang paling tinggi. Sedangkan spesimen yang memiliki struktur mikro yang paling kasar memiliki nilai kekerasan yang paling rendah. Selain itu daerah *weld metal* memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *base metal* karena kadar Ni yang lebih banyak daripada di *base metal*. Kadar Ni yang lebih banyak di *weld metal* disebabkan pada daerah *weld metal* terbentuk oleh *filler* las berupa *filler* ERCuNi 70/30. *Filler* jenis ini digunakan atas rekomendasi dari AWS karena memiliki sifat mekanik yang lebih baik daripada CuNi 90/10. Semakin tinggi kadar Ni pada *weld metal* mengakibatkan lebih banyak penguatan larutan padat dibandingkan pada *base metal* sehingga kekerasannya meningkat. (Devletian dan Sullivan, 2006)

---

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh variasi arus dan *travel speed* terhadap pengelasan CuNi 90/10 dengan metode TIG maka, kesimpulan yang dapat diambil adalah

1. Struktur mikro yang dihasilkan pada masing-masing pengelasan adalah  $\alpha$ CuNi. Pada *weld metal* struktur mikronya berupa *full dendritic* sedangkan pada *base metal* berupa *polycrystalline  $\alpha$ -phase solid solution*. Semakin tinggi arus dan *travel speed* menghasilkan struktur mikro yang lebih halus.
2. Semakin tinggi arus dan *travel speed* maka nilai kekerasan dari masing-masing spesimen semakin tinggi. Nilai kekerasan paling tinggi ditunjukkan oleh spesimen dengan arus 120A dan *travel speed* 12.5cm/min yaitu sebesar 124.93HV.

#### **5.2 Saran**

Saran yang bisa diberikan setelah dilakukan penelitian diatas adalah

1. Gunakan alat rotary agar spesimen berputar konstan sehingga *travel speed* yang dihasilkan benar-benar konstan
2. Menggunakan SEM EDX untuk melihat komposisi hasil lasan sehingga bisa mendukung data uji mekanik.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_. 1992. **ASM Metals Handbook Volume 02 9th Edition**. ASM International.
- \_\_\_\_\_. 2013. **ASTM E112 Standard Test Methods for Determining Grain Size**. USA. ASTM International
- \_\_\_\_\_. 1997. **ASTM E92 Standard Test Methods for Vickers Hardness of Metallic Materials**. USA. ASTM International.
- \_\_\_\_\_. 2011. **ASTM E407 Standard Practice for Microetching Metals and Alloys**
- \_\_\_\_\_. 2000. **Welding Inspection Handbook Third Edition**. LeJeune Road, Miami. AWS
- \_\_\_\_\_. 1996. **Welding Handbook Material and Applications Part 1**. LeJeune Road, Miami. AWS
- \_\_\_\_\_. 1972. **Welding Handbook Welding Technology Vol 1**. LeJeune Road, Miami. AWS
- Callister Jr., W. D., & Rethwisch, D. G. 2013. **Materials Science and Engineering : An Introduction, 9th Edition**. Hoboken. John Wiley & Sons, Inc.
- Chakravarthy, M.P, 2018. **Study of Microstructure and Mechanical Properties of 90%Cu10%Ni Alloy Joints using Laser Beam Welding**. India. International Journal of Mechanical And Producing Engineering
- Copper Development Association (CDA). 1999. **Copper-Nickel Fabrication**. CDA Publication.
- Dadang. 2013. **Teknik Las GTAW**. Jakarta: Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- DED. 2000. **Gas Tungsten Arc Welding Course**. Germany: German Development Service.
- Devletian, Jack.H. Sullivan, Michael J. 2006. **Flux Cored Arc Welding Of CuNi 90/10 Piping with CuNi**

- 70/30 Filler Metal.** San Diego. Portland State University
- Karunakaran, N dan Balasubramanian. 2010. **Effect of Pulsed Current on Temperature Distribution, Weld Bead Profiles and Characteristics of Gas Tungsten Arc Welded Aluminium Alloys Joints.** India. Annamalai University.
- Messler, Robert W. 1999. **Principle of Welding: Processes, Physics, Chemistry and Metallurgy.** New Jersey: John Wiley and Sons
- Mohruni, A.S. Kembaren, B.H, 2013. **Pengaruh Variasi Kecepatan dan Kuat Arus Terhadap Kekerasan, Tegangan Tarik, Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Dengan Elektroda E60103.** Palembang. Universitas Sriwijaya
- Moslemi, Navid. dkk. 2015. **Effect of Current on Characteristic for 316 Stainless Steel Welded Joint Including Microstructure and Mechanical Properties.** Johor. Universiti Teknologi Malaysia
- Musaikan. 1997. **Teknologi Pengelasan.** Surabaya. Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS
- Pasalbessy, Valentino dkk. 2015. **Pengaruh Besar Arus Listrik dan Kecepatan Las terhadap Kekuatan Tarik Aluminium 5083 Pengelasan TIG.** Semarang. Universitas Diponegoro
- Pires, J.Noberto dkk. 2006. **Welding Robot-Technology, System, Issues and Application.** London. British Library Cataloguing
- Rizky, Figo. 2017. **Analisis Variabel Komposisi Unsur Nikel (Ni) Pada Pengecoran Tembaga-Nikel Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro dan Ketahanan Korosi Guna Aplikasi Pipa Bawah**

- Laut.** Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Rogers, M.S. 2003. **Welding Inspection Defects/Repairs Course Reference.** London. The Welding Institut.
- Sahlan. 2015. **Analisis Cacat Las Incomplete Fusion dan Retak Memanjang pada Waterwall Tube Boiler PLTU Paiton Unit 1.**
- Schleich, Wilhelm. 2006. **Application Of Copper-Nickel Alloys UNS C70600 For Sea Water.** Jerman. KM Europa Metal
- Suwarno. 2005. **Investigasi Derajat Presipitasi Karbida Krom pada Baja Tahan Karat Austenitik terhadap Pengamatan Makro.** Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Wiryosumarto, Harsono dan Okumura, T. 2000. **Teknologi Pengelasan Logam.** Jakarta: Pradnya
- Yusop, N.K., Chow, S.C. & Badri, A. 2015. **Structural and Electrical Characterizations of CuNi Thin Film.**



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## **LAMPIRAN**

# Lampiran 1

## Data Uji Material

GENERAL IDENTIFICATION REPORT																																																														
PROJECT NAME : TUGAS AKHIR										Reference : -																																																				
CLIENT : WAHYU HIDAYAT NURDIANSYAH																																																														
SUBJECT : PIPE SPECIMENT																																																														
LOCATION AREA Surabaya			SYSTEM -		DRAWING NO. -		LINE NO. -		PMI Report No 001-PMI/RBT/II/18 Page 1 of 1			PMI Date 14/3/2018																																																		
No	Material No.	MATERIALS	DIA (Inch)	THK (mm)	HEAD NO.	Taking Weld/Shell	CHEMICAL COMPOSITION								INSPECTION																																															
1		PIPE	4	2		Base Metal	Spec	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Zr	Pb	Result	REN																																													
							Actual	0.58	1.11	0.07	10.11	86.32	1.68	0.06	0.01																																															
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Standard Material Data</p> <p>CLSA2006 90-10</p> <p>Chem Type : 1.5.14.0000 0.00 0.1</p> <p>CS 14-2018 14.51</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>El</th> <th>Th</th> <th>%</th> <th>Min</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mn</td> <td>0.00</td> <td>0.50</td> <td>1.00</td> <td>0.03</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>1.00</td> <td>10.00</td> <td>1.00</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>Co</td> <td>0.00</td> <td>0.07</td> <td>0.02</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ni</td> <td>9.00</td> <td>10.00</td> <td>11.00</td> <td>0.14</td> </tr> <tr> <td>Cu</td> <td>85.15</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> <td>0.09</td> </tr> <tr> <td>Zn</td> <td>0.00</td> <td>1.68</td> <td>1.00</td> <td>0.06</td> </tr> <tr> <td>Zr</td> <td>0.00</td> <td>0.06</td> <td>0.03</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Pb</td> <td>0.00</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> </div> <div>  </div> </div>																		El	Th	%	Min	Max	Mn	0.00	0.50	1.00	0.03	Fe	1.00	10.00	1.00	0.01	Co	0.00	0.07	0.02		Ni	9.00	10.00	11.00	0.14	Cu	85.15	10.00	10.00	0.09	Zn	0.00	1.68	1.00	0.06	Zr	0.00	0.06	0.03		Pb	0.00	0.01	0.01	
El	Th	%	Min	Max																																																										
Mn	0.00	0.50	1.00	0.03																																																										
Fe	1.00	10.00	1.00	0.01																																																										
Co	0.00	0.07	0.02																																																											
Ni	9.00	10.00	11.00	0.14																																																										
Cu	85.15	10.00	10.00	0.09																																																										
Zn	0.00	1.68	1.00	0.06																																																										
Zr	0.00	0.06	0.03																																																											
Pb	0.00	0.01	0.01																																																											
Inspected By						Reviewed By						Witnessed and Accepted By																																																		
 <b>ROBUTECH</b> Royanto Dan Saputro NIK 1401021																																																														

## Lampiran 2

### Data Perhitungan Heat Input

Perhitungan *Heat Input* menggunakan rumus dibawah ini :

$$H = \frac{\eta \cdot E \cdot I}{V}$$

Dimana :

H = *Heat Input* (HI) (kJ/mm)

E = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

V = Kecepatan pengelasan (mm/s)

$\eta$  = Efisiensi pengelasan

Maka *heat input* untuk arus 100A dan *travel speed* 7.5cm/min adalah :

$$H = \frac{0.6 \times 12V \times 100A}{1.25\text{mm/s}}$$

$$H = \frac{720 \text{ J}}{1.25\text{mm}}$$

$$H = 528 \text{ J/mm}$$

Dengan cara yang sama, maka dapat dihitung *heat input* keseluruhan spesimen sehingga didapatkan *heat input* seperti pada tabel berikut :



Tabel Perhitungan *Heat Input* CuNi 90/10

Material	Parameter					HI (J/mm)
	Arus	<i>Travel Speed</i> (cm/min)	<i>Travel Speed</i> (mm/s)	Voltase	Eff	
CuNi 90/10	100	7.5	1.25	12	0.6	576
	110	7.5	1.25	12	0.6	633.6
	120	7.5	1.25	12	0.6	691.2
	100	10	1.66667	12	0.6	432
	110	10	1.66667	12	0.6	475.2
	120	10	1.66667	12	0.6	518.4
	100	12.5	2.08333	12	0.6	345.6
	110	12.5	2.08333	12	0.6	380.2
	120	12.5	2.08333	12	0.6	414.7

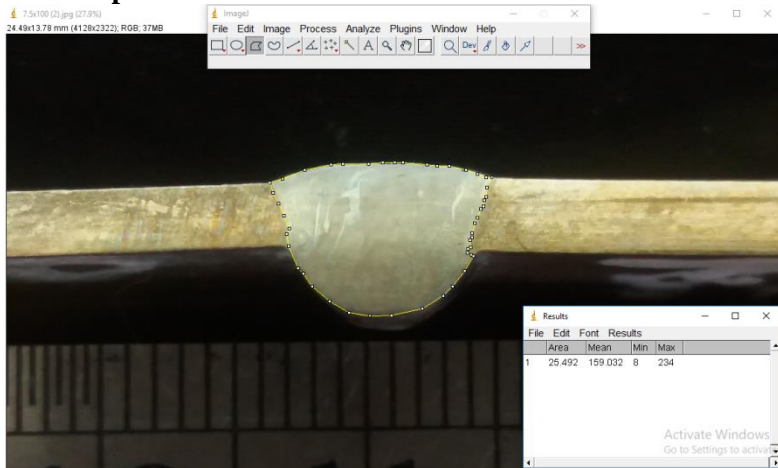
**Lampiran 3**  
**Foto Proses Pengelasan**



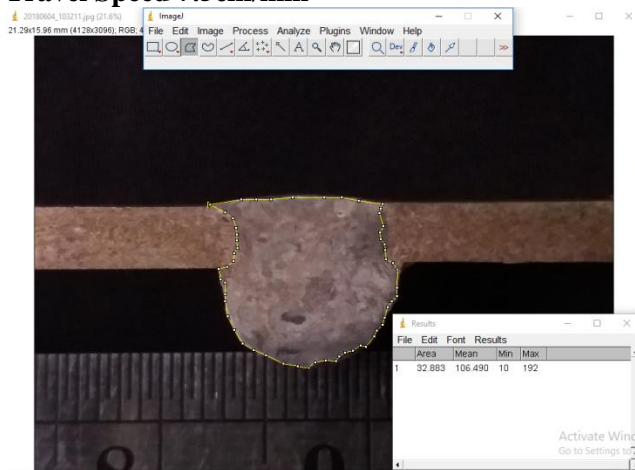
## Lampiran 4

### Foto Perhitungan Luasan dengan menggunakan ImageJ

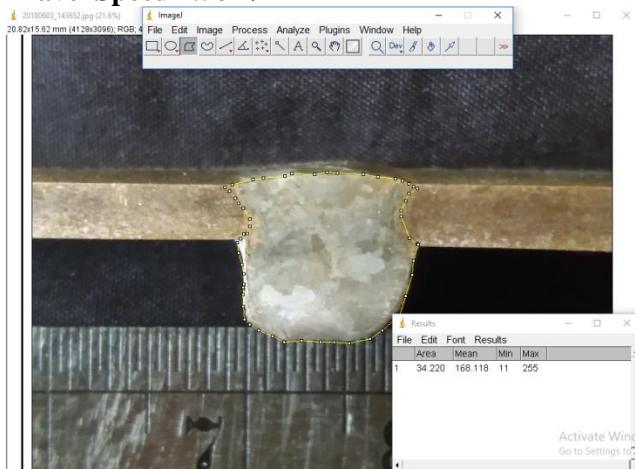
### Perhitungan Luasan Spesimen dengan Variasi Arus 100A dan Travel Speed 7.5cm/min



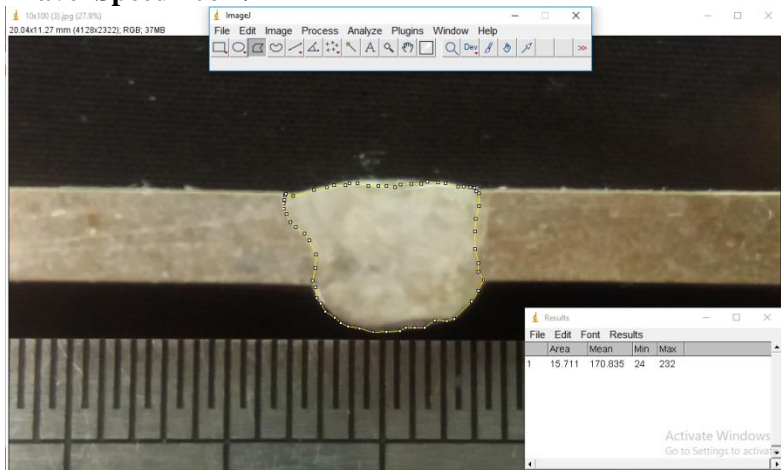
### Perhitungan Luasan Spesimen dengan Variasi Arus 110A dan Travel Speed 7.5cm/min



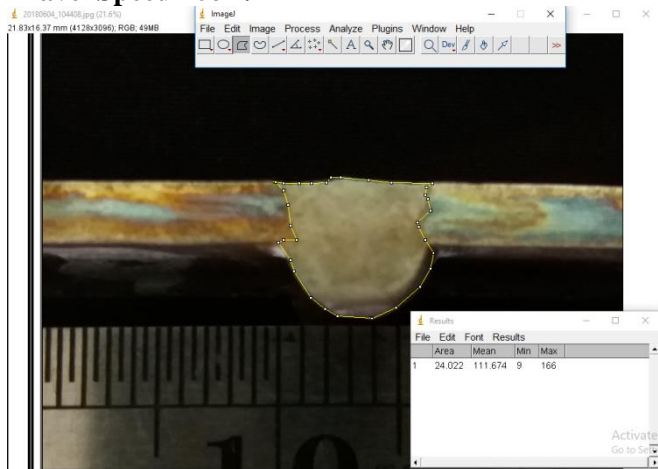
## Perhitungan Luasan Spesimen dengan Variasi Arus 120A dan Travel Speed 7.5cm/min



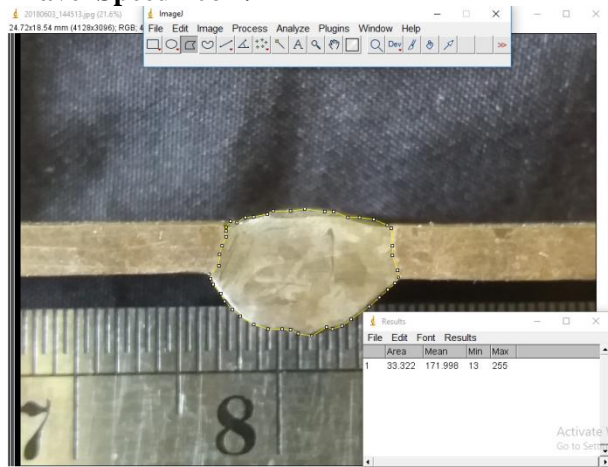
## Perhitungan Luasan Spesimen dengan Variasi Arus 100A dan Travel Speed 10cm/min



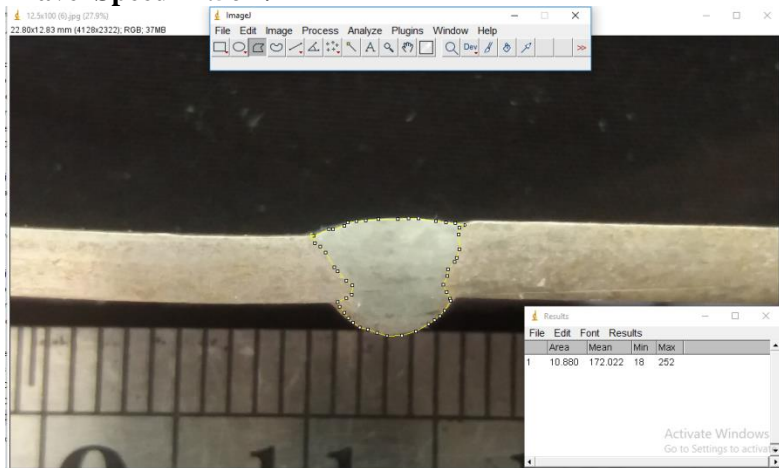
## Perhitungan Luasan Spesimen dengan Variasi Arus 110A dan Travel Speed 10cm/min



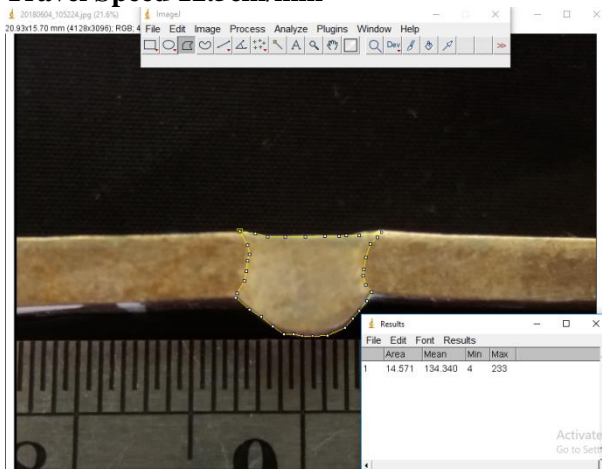
## Perhitungan Luasan Spesimen dengan Variasi Arus 120A dan Travel Speed 10cm/min



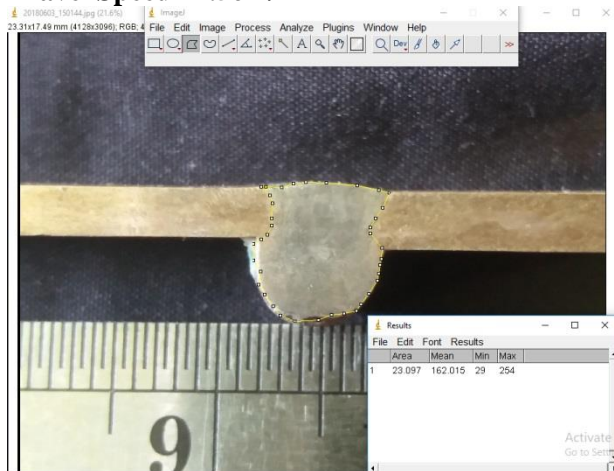
## Perhitungan Luasan Spesimen dengan Variasi Arus 100A dan Travel Speed 12.5cm/min



## Perhitungan Luasan Spesimen dengan Variasi Arus 110A dan Travel Speed 12.5cm/min



## Perhitungan Luasan Spesimen dengan Variasi Arus 120A dan Travel Speed 12.5cm/min



## Lampiran 5

### Perhitungan Jeffries

Perhitungan Planimetric atau metode Jeffries menggunakan rumus dibawah ini :

$$N_A = f (N_{\text{Inside}} + \frac{N_{\text{Intercepted}}}{2})$$

Dimana :

$N_A$  = Jumlah butir per millimeter persegi

$f$  = Faktor Jeffries, didapatkan dari  $f = 0.0002M^2$

$M$  = Perbesaran

$N_{\text{Inside}}$  = Jumlah butir yang secara keseluruhan didalam lingkaran uji

$N_{\text{Intercepted}}$  = Jumlah butir yang berpotongan dengan lingkaran uji

Nilai  $M$  merupakan perbesaran skala gambar dimana pada gambar tertera skala  $100\mu\text{m}$ . Maka nilai  $M$  adalah

$$\begin{array}{lcl} M = & \text{Skala Gambar} & : \quad \text{Skala Sesungguhnya} \\ & 1.7\text{cm} & : \quad 100\mu\text{m} \\ & 1.7 \times 10^4 \mu\text{m} & : \quad 100\mu\text{m} \\ & 1.7 \times 10^2 & : \quad 1 \end{array}$$

$M = 170$ , maka nilai  $f = 0.0002M^2 = 5.78$

Maka perhitungan Jeffries untuk arus 100A dan *travel speed* 7.5cm/min adalah :

$$N_A = f (N_{\text{Inside}} + \frac{N_{\text{Intercepted}}}{2})$$

$$N_A = 5.78 ( 125 + \frac{34}{2} )$$

$$N_A = 820.76$$

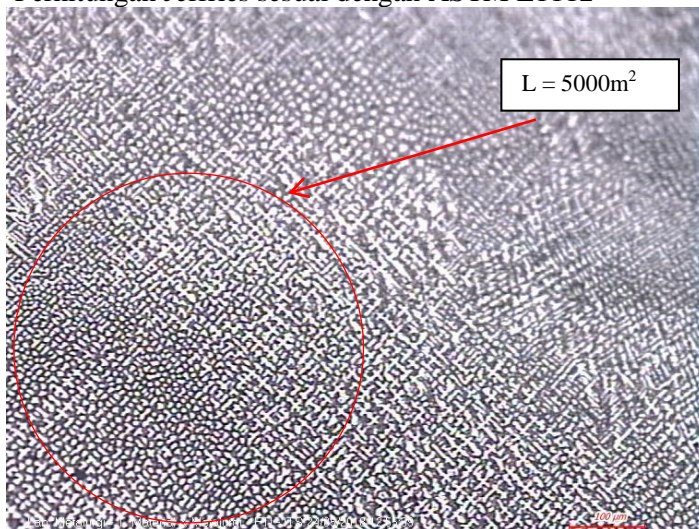
Dengan cara yang sama, maka dapat dihitung jumlah butir keseluruhan spesimen sehingga didapatkan jumlah butir seperti pada tabel berikut :



Tabel Perhitungan Jeffris

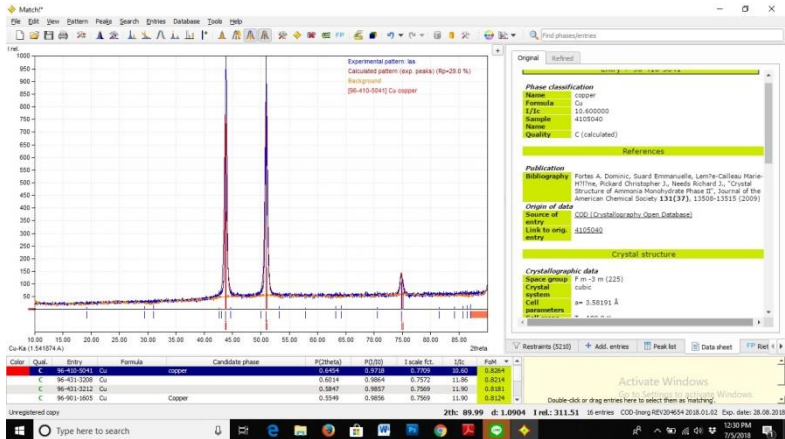
Material	Jeffris Method ASTM 112					
	Arus	<i>Travel Speed</i> (cm/min)	f	N inside	N intercept	NA
CuNi 90/10	100	7.5	5.78	125	34	820.76
	110	7.5	5.78	131	35	858.33
	120	7.5	5.78	136	38	895.9
	100	10	5.78	124	41	835.21
	110	10	5.78	145	35	939.25
	120	10	5.78	150	34	965.26
	100	12.5	5.78	127	40	849.66
	110	12.5	5.78	153	41	1002.83
	120	12.5	5.78	163	47	1077.97

Perhitungan Jeffries sesuai dengan ASTM E1112

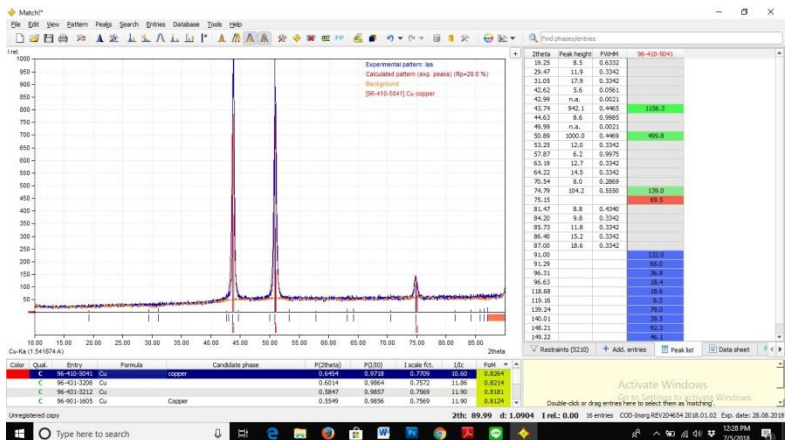


# LAMPIRAN 6

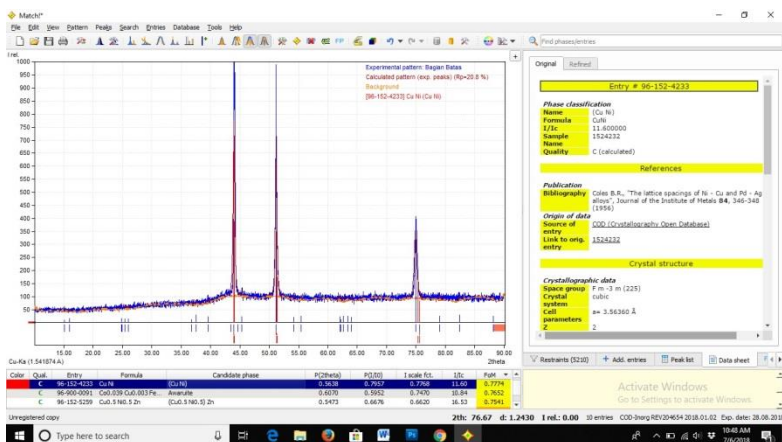
## Hasil XRD



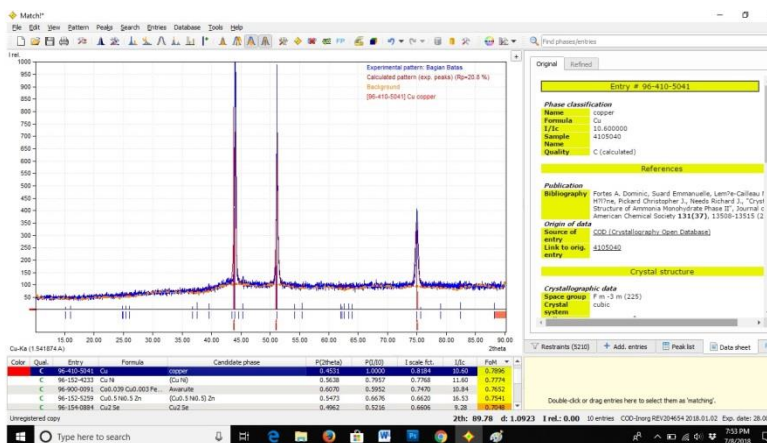
Gambar Weld Metal Data Sheet



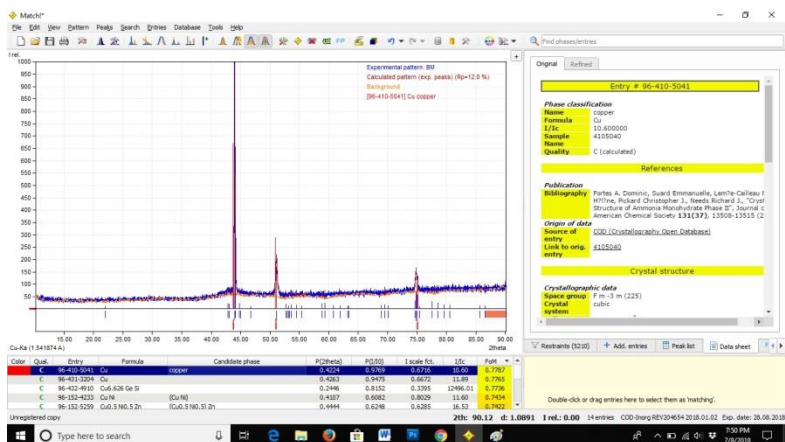
Gambar Weld Metal Peak List



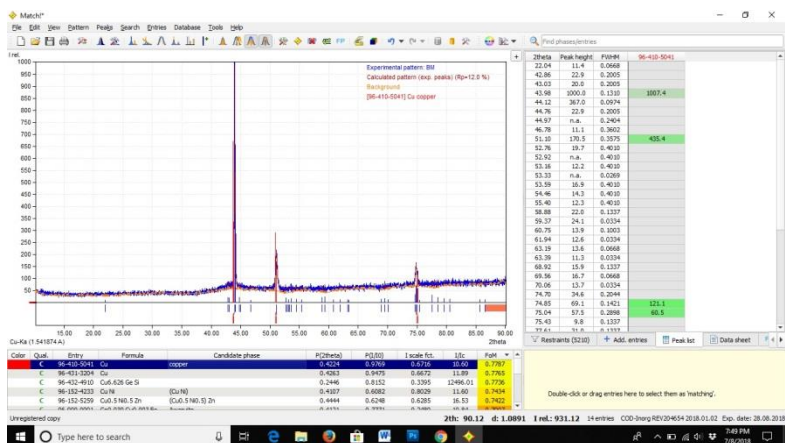
Gambar Fusion Line Data Sheet



Gambar Fusion Line Peak List



Gambar Base Metal Data Sheet



Gambar Base Metal Peak List

## LAMPIRAN 7

### Hasil Pengujian Kekerasan

Material	Parameter		Hardness (HV)			
	Arus	<i>Travel Speed</i> (cm/min)	Weld Metal			Rata-rata
CuNi 90/10	100	7.5	92.9	94.1	104.4	97.13
	110	7.5	109.9	85.7	124.1	106.57
	120	7.5	94.8	118.5	108.4	107.23
	100	10	103.1	111.2	93.5	102.60
	110	10	111.3	97.5	114	107.60
	120	10	111.7	107	123	113.90
	100	12.5	107	99.4	107.9	104.77
	110	12.5	104.4	111.3	113.1	109.60
	120	12.5	150.8	125	99	124.93
Material	Parameter		Hardness (HV)			
	Arus	<i>Travel Speed</i> (cm/min)	Base Metal			Rata-rata
CuNi 90/10	100	7.5	85.2	82.3	79.1	82.2
	110	7.5	83.1	79.8	86.1	83
	120	7.5	80.8	86.9	82.1	83.26667
	100	10	83.3	75.9	88.1	82.43333
	110	10	85.9	85.3	78.8	83.33333
	120	10	86.5	83	83.4	84.3
	100	12.5	78.1	80.1	89.5	82.56667
	110	12.5	83.3	86.2	82.1	83.86667
	120	12.5	85.1	85.2	83.3	84.53333

Material	Parameter		Hardness (HV)			
	Arus	<i>Travel Speed</i> (cm/min)	Fusion Line			Rata-rata
CuNi 90/10	100	7.5	79.8	88	80.4	82.73
	110	7.5	80.4	88	87.8	85.40
	120	7.5	93.4	79.8	85	86.07
	100	10	88	78.8	85	83.93
	110	10	78.8	93.4	85	85.73
	120	10	89	79.8	91.2	86.67
	100	12.5	95.1	79.8	78.8	84.57
	110	12.5	91.2	88	79.8	86.33
	120	12.5	85	91.2	85	87.07

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMA KASIH

1. Orang tua yaitu Pak Pur dan Bu Endang serta kedua adik saya Devi dan Viki yang senantiasa memberikan dukungan yang tiada henti selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Ir. Agung Purniawan S.T., M.Eng selaku ketua departemen Teknik Material FTI-ITS. Dengan beliaulah penulis bisa terayomi dan berkembang terutama saat penulis menjadi Ketua HMMT FTI ITS 16//17
3. Ibu Diah Susanti selaku sekretaris departemen Teknik Material FTI ITS. Dengan beliaulah penulis belajar disiplin dan bertanggung jawab
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono selaku Sekprodi S1 departemen Teknik Material FTI ITS. Dengan beliaulah penulis belajar berjuang, bekerja keras, berfikir dewasa dan bersabar saat menghadapi masalah.
5. Bapak Wikan Jatimurti, S.T., M.Sc dan Bapak Alvian Toto Wibisono S.T., M.T, selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing, membantu dan memberikan kritik serta saran selama pelaksanaan tugas akhir.
6. Bapak Mavindra Ramadhani S.T, M.T., selaku dosen yang seringkali membantu penulis dalam bidang akademik maupun non akademik
7. Bapak Sigit Budi Raharjo beserta seluruh pegawai PT PAL Indonesia dan rekan-rekan bengkel seperti pak Supri pak Pur dll yang telah membantu penulis mengelas spesimen penulis. Tanpa mereka penulis tidak tahu kelanjutan Tugas Akhir penulis.
8. Priagung Surya B, selaku partner penulis mengerjakan Tugas Akhir. Berkat Surya penulis mengerti bahwa



pengerjaan Tugas Akhir tidak hanya tentang *Running* dan menulis laporan.

9. Teman-teman Tiliskitip, Imam Leo Azmi Cimeng Affan Mbambing Megah dll serta teman-teman Receh, dan teman-teman *sepercangkrukan* lain yang senantiasa memberikan support dan canda tawa siang dan malam.
10. Teman-teman BPH-PI HMMT 16/17 serta teman-teman kepengurusan HMMT 16/17 yang telah sabar dan mau menjadi ruang bagi penulis untuk belajar mengolah diri
11. Elok Apriliawati dan keluarga yang dengan sabar memotivasi dan menemani penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.
12. Teman-teman MT 16, tanpa mereka penulis tidak akan ada di Departemen Teknik Material sampai lulus
13. Teman-teman Presidium ITS terutama rekan-rekan FTI lama yang telah memberikan arti kepemimpinan yang unik.
14. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Blitar pada tanggal 4 Mei 1996, merupakan anak pertama dari 3 bersaudara dari pasangan Purnomo dan Endang Subiarti. Penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari SDN Jegu 1, SMPN 1 Sutojayan dan SMAN 1 Garum. Saat ini penulis tengah menyelesaikan studi sarjananya di Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan NRP 2714100101. Di Departemen Teknik Material penulis melakukan penelitian Tugas Akhir bidang Manufaktur, pada Laboratorium Metalurgi dengan judul tugas akhir **“Pengaruh Variasi Arus dan *Travel Speed* Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan CuNi 90/10 Dengan Metode TIG**”. Selama berkuliah penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Kimia Analisis. Penulis aktif mengikuti organisasi HMMT FTI ITS sebagai Staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI – ITS, Staff Departemen Mentoring LDJ Ash-Haabul Kahfi, Kepanitiaan Wisuda HMMT, Kepanitiaan Ikamat, Kepanitiaan Gerigi, KPU HMMT dan Ketua HMMT FTI – ITS 16/17. Selain itu penulis juga pernah mengikuti beberapa lomba karya tulis ilmiah seperti Pekan Ilmiah Mahasiswa dan Metaloscope. Penulis melakukan kerja praktek di PT Pupuk Sriwidjaya. Nomor telepon penulis yang dapat dihubungi adalah 082264532949 dengan alamat email [hidayatwahyun@gmail.com](mailto:hidayatwahyun@gmail.com)

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*